



**Filipe Miguel Mexia Marques**

Licenciado em Ciências da Engenharia Mecânica

## **Estudo Energético de um Edifício à Luz do RCCTE e do RSECE**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica

Orientador: José Almeida Dias, Prof. Doutor, FCT - UNL



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Setembro de 2011**



# Estudo Energético de um Edifício à luz do RCCTE e RSECE

© Filipe Miguel Mexia Marques, FCT-UNL, 2011

A Faculdade de Ciências e Tecnologias e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Professor José Dias, por todo o apoio e orientação prestados ao longo de todo este tempo.

À minha Avó, por todas as palavras de apoio e por todas as intercessões divinas que realizou ao longo de toda a minha vida académica.

Aos meus pais, por me terem inculcido os valores que fizeram de mim a pessoa que sou hoje, por me permitirem o acesso a este nível de ensino e sobretudo pelo apoio e confiança demonstrados ao longo deste período.

A toda a minha família que sempre depositou em mim a confiança que me serviu de apoio para que pudesse chegar a este ponto.

À Susana, por todo o apoio e compreensão durante estes anos. O ombro onde pude descansar, onde fui buscar sorrisos e força. A pessoa com quem partilhei todos os momentos nos últimos sete anos.

Aos meus colegas, por toda a ajuda demonstrada desde sempre. Todas as horas que passámos juntos permitiram que se criassem os laços de amizade que hoje nos unem. Não poderia deixar de agradecer de forma especial ao Russo e ao Hélder por toda a partilha de conhecimento e amizade que sempre demonstraram, principalmente na fase final da nossa vida académica.

A todos aqueles que de forma directa ou indirecta me permitiram chegar aqui e que de alguma forma me ajudaram, o meu muito obrigado!



## Resumo

Actualmente vivem-se dias em que a preocupação ambiental está presente em tudo aquilo que nos rodeia. A tendência crescente do consumo de energia a nível global conduz a um maior consumo de recursos e a todos os problemas ambientais e económicos que são inerentes à produção de energia. Com a implementação duma forma de pensar mais verde, e uma vez que o parque habitacional representa uma grande fatia da energia consumida é importante procurar uma forma de reduzir este consumo. A aplicação de Regulamentos que visam o controlo e a limitação dos consumos energéticos a um edifício serviu como base a este estudo e foi efectuado por intermédio de um software, o RCCTE-STE. Este software analisou um edifício puramente teórico, o Edifício Base, e posteriormente analisou uma série de alterações realizadas.

De maneira a comprovar a utilidade do software na determinação das potências das máquinas utilizadas no sistema de climatização, foi efectuado um estudo psicrométrico e comparados os resultados com os dados obtidos através do RCCTE-STE.

Neste documento foi também efectuada a escolha do sistema de climatização para o Edifício Base, tendo como base as potências determinadas pelo software de análise utilizado, assim como as análises psicrométricas.

**Palavras Chave:** Edifício, Necessidades Energéticas, Climatização, Eficiência Energética.





## **Abstract**

Nowadays environmental concerns are present in every aspect of the world around us. The trend of growing energy consumption at a global scale leads to greater consumption of resources and all the environmental and economic problems that are inherent to energy production. With the implementation of a greener way of thinking, and since the housing stock represents a large share of energy consumed it is important to find a way to reduce this consumption. The implementation of regulations aimed at controlling and limiting energy consumption to a building will serve as the basis for this study and will be done through a software, RCCTE-STE. This software will look at a purely theoretical building, the Base Building, and then analyze a number of changes made.

In order to prove the usefulness of the software in determining the powers of the machines used in the HVAC system, a psychrometric study was conducted and its results compared with data obtained through RCCTE-STE.

The choice of the HVAC system was also made in this document, based on the powers determined by the analysis software used and the psychrometric analysis.

**Key Words:** Building, Energy Needs, Climatization, Energy Efficiency.



## Índice

1	Introdução .....	1
2	Regulamentos em Vigor e Ferramentas de Verificação .....	3
2.1	RCCTE.....	3
2.1.1	Parâmetros de Verificação do RCCTE.....	4
2.2	RSECE .....	5
2.2.1	Parâmetros de Verificação do RSECE .....	6
2.3	Ferramentas de Verificação.....	8
2.3.1	RCCTE-STE 2006.....	8
2.3.2	Folha de Cálculo do RCCTE - Excel .....	10
3	Caso de Estudo - Edifício Base .....	11
3.1	Localização do Edifício.....	12
3.2	Estrutura do Edifício .....	12
3.2.1	Pilares Interiores.....	13
3.2.2	Pilares de Canto.....	13
3.2.3	Pilares de Parede .....	14
3.2.4	Outros Elementos na Estrutura de Betão.....	14
3.3	Envolvente Opaca .....	14
3.3.1	Paredes .....	14
3.3.2	Cobertura.....	15
3.3.3	Pavimento.....	16
3.4	Vãos Envidraçados.....	17
3.5	Levantamento das características do edifício .....	18
3.6	Aplicação das Ferramentas de Verificação ao Edifício Base.....	20
3.6.1	RCCTE - STE 2006 (Verificação do RCCTE) .....	20
3.6.2	Folha de Cálculo do Excel (Verificação do RCCTE) .....	25
3.6.3	RCCTE - STE 2006 (Verificação do RSECE).....	27
4	Alterações ao Caso de Estudo .....	31

4.1	Alteração do Pé Direito .....	31
4.1.1	Variação das Necessidades Energéticas .....	31
4.1.2	Variação das Potências Térmicas .....	35
4.2	Alteração de Vãos Envidraçados .....	37
4.2.1	Aumento de Área de Envidraçados .....	37
4.2.2	Aumento de Área em todos os Vãos Envidraçados.....	42
4.2.3	Colocação de Clarabóia.....	43
4.3	Alteração da Ocupação/Densidade.....	45
4.3.1	Alteração do Tipo de Ocupação (Ganhos Internos Médios) .....	45
4.3.2	Alteração da Densidade de Ocupação .....	47
4.4	Alteração da Classe de Inércia Térmica .....	49
4.5	Alteração da Localização .....	51
4.6	Considerações sobre as alterações efectuadas .....	53
5	Psicrometria.....	55
5.1	Verificação das Condições de Estudo .....	55
5.2	Estação de Aquecimento .....	56
5.2.1	Determinação do Ponto de Mistura .....	58
5.2.2	Cálculo da Potência de Aquecimento.....	61
5.2.3	Evolução Psicrométrica.....	61
5.3	Estação de Arrefecimento .....	63
5.3.1	Determinação do Ponto de Mistura.....	65
5.3.2	Cálculo da Potência de Arrefecimento.....	66
5.3.3	Evolução Psicrométrica.....	67
6	Sistema de Climatização .....	71
6.1	Breve Descrição do Sistema.....	71
6.2	Escolha do equipamento.....	73
6.2.1	Chiller.....	73
6.2.2	Unidade de Tratamento de Ar - UTA.....	73
6.2.3	Difusores .....	80

6.2.4	Condutas.....	81
6.3	Controlo e Comando .....	83
7	Conclusões .....	87
	Bibliografia .....	89
	Anexos.....	91



# Índice de Figuras

Figura 2.1 - Modelo de RC equivalente (5 resistências e 1 capacitância).....	9
Figura 3.1 - Edifício Base visto do Exterior.....	11
Figura 3.2 - Localização Geográfica do Edifício Base .....	12
Figura 3.3 - Estrutura de Betão do Edifício Base.....	13
Figura 3.4 - Esquema da Parede.....	14
Figura 3.5 - Esquema da Cobertura.....	15
Figura 3.6- Esquema do Pavimento .....	16
Figura 3.7 - Exemplo Ilustrativo de Vidro Duplo .....	17
Figura 3.8 - Exemplo Ilustrativo de Estores Venezianos de Lâminas Metálicas .....	17
Figura 3.9 - Interface com STE 2006 (1) .....	21
Figura 3.10 - Potências Instaladas (aquecimento e arrefecimento) inferiores a 25 kW .....	22
Figura 3.11 - Inserção de Dados relativos à parede voltada a Este .....	23
Figura 3.12 - Inserção de Dados relativo ao Vão Envidraçado voltado a Este .....	23
Figura 3.16 - Comparação entre os valores limite e os valores reais das Necessidades Energéticas .....	24
Figura 3.18 - Inserção de dados relativos às paredes na Folha de Cálculo do Excel .....	26
Figura 3.19 - Inserção de dados relativos aos vãos envidraçados na Folha de Cálculo do Excel.....	26
Figura 3.20 - Output da Folha de Cálculo do Excel.....	27
Figura 3.13 - Parâmetros Variáveis do Edifício .....	28
Figura 3.14 - Output do STE.....	28
Figura 3.15 - Evolução das Temperaturas ao longo da 1ª semana do ano .....	29
Figura 3.17 - Comparação entre valor real e valor limite de referência do IEE.....	29
Figura 4.1 - Perdas Térmicas no Cálculo de Nic para um Pé Direito de 4,32 metros.....	32
Figura 4.2 - Perdas Térmicas no Cálculo de Nic para um Pé Direito de 2,50 metros.....	33
Figura 4.3 - Variações de Nic e Nvc com a diminuição do Pé Direito .....	34
Figura 4.4 - Variação das Necessidades Energéticas Totais com a diminuição do Pé Direito ...	35
Figura 4.5 - Variação das Potências de Aquecimento e Arrefecimento com a diminuição do Pé Direito .....	36
Figura 4.6 - Evolução de Nic e Nvc com o aumento da Área de Vão Envidraçado voltada a Norte.....	38
Figura 4.7 - Evolução de Nic e Nvc com a alteração da Área de Vão Envidraçado voltada a Sul .....	39
Figura 4.8 - Evolução das Necessidades Energéticas Totais com o aumento da Área de Envidraçado a Sul .....	40

Figura 4.9 - Evolução das Necessidades Energéticas Totais com o aumento da Área de Vão Envidraçado voltada a Este/Oeste .....	41
Figura 4.10 - Evolução das Necessidades Energéticas com o aumento gradual de todos os Vãos Envidraçados .....	42
Figura 4.11 - Evolução de Nic e Nvc com a colocação e aumento da Área de Clarabóia .....	44
Figura 4.12 - Variação das Nic e Nvc com a alteração dos ganhos internos intermédios.....	46
Figura 4.13 - Evolução das Potências de Aquecimento e e Arrefecimento com a variação da densidade de ocupação .....	48
Figura 5.1 - Pontos no diagrama psicrométrico ( E, A e I ).....	58
Figura 5.2 -Representação do ponto de mistura no diagrama psicrométrico .....	60
Figura 5.3 - Evolução Psicrométrica aquecimento (M até H).....	61
Figura 5.4 - Evolução Psicrométrica aquecimento (H até I) .....	62
Figura 5.5 - Evolução Psicrométrica completa para a Estação de Aquecimento .....	62
Figura 5.6 - Pontos no diagrama psicrométrico (A e E).....	63
Figura 5.7 - Representação no diagrama psicrométrico do ponto referente à saída da bateria de frio .....	64
Figura 5.8 - Representação no diagrama psicrométrico do Ponto de Mistura (M) .....	66
Figura 5.9 - Evolução Psicrométrica arrefecimento (M até BF) .....	67
Figura 5.10 - Evolução Psicrométrica Arrefecimento (BF até I) .....	68
Figura 5.11 - Evolução Psicrométrica Arrefecimento (I até A) .....	69
Figura 5.12 - Evolução Psicrométrica completa para a Estação de Arrefecimento .....	69
Figura 6.1- Aspecto exterior de uma Unidade de Tratamento de Ar [Catálogo Online] .....	71
Figura 6.2 - Aspecto exterior de um chiller [ Catálogo Daikin ].....	72
Figura 6.3 - Configuração da UTA .....	74
Figura 6.4 - Pontos necessários ao cálculo da eficiência do processo de humificação .....	76
Figura 6.5- Disposição dos Difusores [Easy Product Finder ] .....	80
Figura 6.6 - Difusor utilizado [Catálogo Trox® Technik ] .....	81
Figura 6.7 - Configuração da rede de condutas de insuflação e numeração das secções .....	81
Figura 6.8- Esquema de Comando da UTA .....	84



## Índice de Tabelas

Tabela 3.1- Valores das Resistências Térmicas Superficiais .....	16
Tabela 3.2- Valores do Coeficiente Global de Transmissão Térmica da Cobertura .....	16
Tabela 3.3 - Levantamento dos Comprimentos do Edifício.....	19
Tabela 3.4 - Levantamento das Áreas do Edifício .....	19
Tabela 3.5 - Valores de U para os vários Elementos.....	20
Tabela 3.6 - Output do Software relativo ao RCCTE .....	24
Tabela 3.7 - Comparação de Resultados obtidos através do STE 2006 e da Folha de Cálculo do Excel.....	27
Tabela 4.1 - Variação do IEE com o aumento da Área de Vãos Envidraçados .....	43
Tabela 4.2 - Variação do IEE com a variação da Área de Clarabóia .....	45
Tabela 4.3 - Variação das Nic e Nvc com a alteração dos ganhos internos médios.....	46
Tabela 4.4 - Caudais mínimos de ar novo .....	48
Tabela 4.5 - Classes de Inércia Térmica segundo o RCCTE .....	50
Tabela 4.6 - Variação das Nic, Nvc e Potências Nominais de Aquecimento e Arrefecimento com a Alteração da classe de Inércia Térmica .....	51
Tabela 4.7 - Resposta do Edifício Base (Pé Direito = 4,32 m) para diferentes localizações .....	52
Tabela 4.8 - Resposta do Edifício Base (Pé Direito = 2,50 m) para diferentes localizações .....	53
Tabela 5.1 - Densidades das Fontes de Calor no Interior do Espaço .....	57
Tabela 5.2 - Factores de Bypass para uma Bateria de Frio com 8 Filas.....	64
Tabela 6.1 - Comparação das Potências necessárias com as Potências do Chiller .....	73
Tabela 6.2 - Características da Bateria de Frio .....	75
Tabela 6.3 - Características da Bateria de Calor .....	76
Tabela 6.4 - Características do Humidificador.....	77
Tabela 6.5 - Características da Resistência Eléctrica .....	77
Tabela 6.6 - Características dos Filtros .....	78
Tabela 6.7 - Características do Ventilador de Retorno .....	79
Tabela 6.8 - Características do Ventilador de Insuflação.....	79
Tabela 6.9 - Dimensionamento das Conduitas.....	82



## **Lista de Abreviaturas**

RCCTE	Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios
U	Coeficiente Global de Transmissão Térmica
Ni	Necessidades de Aquecimento
Nic	Necessidades Nominais de Aquecimento
Nvc	Necessidades Nominais de Arrefecimento
Nv	Necessidades de Arrefecimento
IEE	Índice de Eficiência Energética
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
PTP	Pontes Térmicas Planas
PTL	Pontes Térmicas Lineares



# 1 Introdução

Actualmente em Portugal os edifícios representam uma fatia que se situa entre os 22% e os 30% no que diz respeito ao consumo energético final. Dentro deste consumo de energia uma grande parte corresponde a energia gasta na climatização dos edifícios. No caso de edifício de serviços, a percentagem de energia gasta na climatização em relação ao consumo total pode chegar aos 50% [14]. Como tal, numa época em que a preocupação ambiental é uma constante é necessário perceber como responde um edifício do ponto de vista energético para que se consigam reduzir as necessidades energéticas e consequentemente todos os efeitos inerentes ao consumo de energia. Para que este consumo possa ser controlado foram criados regulamentos que visam a minimização dos consumos energéticos, estabelecendo limites para certos parâmetros que caracterizam energeticamente um edifício. Actualmente em vigor estão dois regulamentos: O RCCTE e o RSECE. De maneira a facilitar a aplicação destes regulamentos foram criadas ferramentas informáticas que avaliam a situação regulamentar de um edifício ao qual são aplicados os regulamentos em causa. Com a elaboração deste estudo pretende-se, não só determinar a tendência dos parâmetros de verificação dos regulamentos quando são alteradas algumas características do edifício, mas também perceber quais as limitações e potencialidades do software utilizado. Desta forma o estudo dividir-se-á em sete capítulos, sendo o primeiro o capítulo relativo à introdução do estudo (capítulo actual) e o último aquele onde estarão presentes as conclusões retiradas. Os restantes capítulos contêm as seguintes matérias:

- Capítulo 2 - Foram abordadas as ferramentas necessárias para a realização do estudo (Regulamentos e software). Os Regulamentos foram descritos assim como os respectivos parâmetros de verificação. Também o software foi descrito (interface com o utilizador) assim como a folha de cálculo do Excel que apenas verifica o RCCTE.
- Capítulo 3 - Neste capítulo foi descrito o edifício que será estudado, o Edifício Base. Após o levantamento de todas as características do edifício necessárias para o estudo energético foram aplicados, por intermédio das ferramentas informáticas, os regulamentos.
- Capítulo 4 - Com o intuito de perceber qual a tendência das respostas energéticas do edifício para várias situações foram efectuadas diversas alterações ao caso base. Para cada alteração efectuada foram aplicados os regulamentos através do software RCCTE-STE.
- Capítulo 5 - Neste capítulo foram efectuadas análises psicrométricas, calculando com base nessas análises as potências de aquecimento e arrefecimento para as situações em que a carga é máxima. Com os valores obtidos neste capítulo foi efectuada uma comparação com os valores determinados pelo software.

## Capítulo 1. Introdução

- Capítulo 6 - Após a determinação das potências realizada em capítulos anteriores foi possível proceder-se à escolha do equipamento que irá garantir a climatização do Edifício Base.
- Capítulo 7 - Tal como referido, este será o capítulo referente às conclusões obtidas com o estudo. Foi também efectuada uma ligeira abordagem a possíveis trabalhos a realizar no futuro.

## **2 Regulamentos em Vigor e Ferramentas de Verificação**

### **2.1 RCCTE**

O RCCTE - Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios é um regulamento que incide sobre os parâmetros de construção de um edifício. A primeira versão a entrar em vigor em Portugal surgiu no ano de 1990, entrando em vigor apenas em 1991. Apesar de ser o primeiro regulamento direccionado unicamente para a térmica dos edifícios em Portugal, no resto da Europa Comunitária eram já muitos os países que tinham adoptado regulamentos com o mesmo intuito. Por este motivo, o RCCTE teve como base toda a experiência adquirida nesses mesmos países onde a térmica dos edifícios era já regulada e adaptou as condições climáticas presentes em Portugal a esses regulamentos. Comparativamente aos regulamentos já existentes noutros países e uma vez que a exposição solar em Portugal é das mais fortes de toda a Europa, passaram a existir imposições relativamente aos requisitos de protecção solar nos vãos envidraçados para que os ganhos solares na estação de arrefecimento não fossem elevados, facto que não se verificava nos demais países regulados. O referido texto impunha regras construtivas que teriam de ser cumpridas quer na construção de edifícios novos quer em grandes remodelações. Estas regras tinham como objectivo um aumento do conforto térmico no interior destes espaços sem que os consumos energéticos aumentassem. Era ainda conveniente conseguir uma diminuição destes consumos. Considerada por alguns como pouco exigente, esta primeira versão do RCCTE seria revista passados 5 anos para que existisse um consenso em relação ao regulamento e para que com o evoluir da construção se conseguissem obter edifícios cada vez mais eficientes.

Actualmente, como já foi referido, a versão em uso do RCCTE data de 2006 (Decreto - Lei nº 80/2006 de 4 de Abril de 2006). Esta versão aplica-se a todas as fracções autónomas de cada edifício. Ou seja, o edifício não é estudado como um todo mas sim como um conjunto de espaços que necessitam de aprovação energética. As estações de aquecimento e arrefecimento continuam a ser estudadas em separado, tendo o método de cálculo das necessidades de cada uma das estações sofrido alterações. Estas alterações provêm das normas europeias referenciadas na Directiva Comunitária 2002/91/CE. Esta directiva impõe uma redução dos consumos energéticos nos edifícios e a revisão periódica de 5 em 5 anos desses mesmos consumos. Esta revisão trouxe como novidade o facto de ser obrigatório o recurso a sistemas de colectores solares térmicos para o aquecimento de água sanitária, quando o edifício se encontra numa localização que permita uma exposição solar adequada. Esta e outras alterações

respeitantes ao aquecimento de águas sanitárias constam na nova versão do RCCTE fundamentalmente porque a energia dispendida no aquecimento destas águas é contabilizado bem como o sistema de aquecimento. As fontes de energia primárias utilizadas é outro dos parâmetros tidos em conta, que irão conduzir a diferentes tipos de requisitos em função da eficiência dos equipamentos. [1] [3]

### 2.1.1 Parâmetros de Verificação do RCCTE

Para que um edifício a que seja aplicado o RCCTE esteja em situação regulamentar existem uma série de imposição que têm obrigatoriamente de ser respeitadas. Numa primeira fase essas imposições passam pela limitação do valor do coeficiente global de transmissão térmica de toda a envolvente opaca presente na fracção autónoma. Esse limite será dependente da localização do edifício, pois para cada zona climática existe um limite diferente. Outro dos limites impostos pelo RCCTE numa primeira fase é o do factor solar do vão envidraçado quando activada a protecção solar (tal como referido anteriormente, esta foi uma das novidades do RCCTE em relação aos regulamentos já em vigor noutros países da União Europeia). Quando todas estas imposições são respeitadas é necessário determinar quais as necessidades energéticas do espaço, para verificar ou não o seu estado regulamentar. Então:

- para a estação de aquecimento, calculam-se as Necessidades Nominais de Aquecimento,  $Nic$ , através da seguinte equação:

$$Nic = \frac{(Q_t + Q_v + Q_{gu})}{A_p} \quad (kWh/m^2 \cdot ano) \quad 1)$$

em que as variáveis representam:

- $Q_t$  - perdas de calor por condução através da envolvente do edifício;
- $Q_v$  - perdas de calor resultantes da renovação de ar;
- $Q_{gu}$  - ganhos de calor úteis, resultantes da iluminação, dos equipamentos, dos ocupantes e dos ganhos solares através dos envidraçados;
- $A_p$  - Área útil do pavimento do edifício/fracção autónoma.

- para a estação de arrefecimento, calculam-se as Necessidades Nominais de Arrefecimento,  $Nvc$ , através da seguinte equação:

$$Nvc = \frac{Q_g}{A_p} \cdot (1 - \eta) \quad (kWh/m^2 \cdot ano) \quad 2)$$



em que  $(1 - \eta)$  é o factor de utilização dos ganhos solares e internos na estação de arrefecimento,  $\eta_{arref}$ ,  $A_p$  a área útil de pavimento da fracção autónoma e  $Q_g$  o balanço entre os ganhos e perdas térmicas do edifício. Nesta situação a metodologia de cálculo é similar à utilizada no cálculo das necessidades de aquecimento. Então:

$$Q_g = Q_i + Q_s + Q_{opaco} \quad (kWh/ano) \quad 3)$$

em que:

$Q_i$  - ganhos internos;

$Q_s$  - ganhos solares através dos vãos envidraçados;

$Q_{opaco}$  - ganhos solares através da envolvente opaca, incluindo as pontes térmicas, que dizem respeito às perdas associadas aos elementos da envolvente exterior e por renovação de ar.

O RCCTE impõe ainda outras limitações no que diz respeito a necessidades energéticas, as Necessidades de Águas Quentes Sanitárias (Nac) e as Necessidades de Energia Primária (Ntc).. No entanto essas limitações não serão contempladas neste estudo uma vez que o edifício não possui águas quentes sanitárias e o método de cálculo de ambas as necessidades referidas é dependente da quantidade de AQS necessárias ao edifício. [1] [3]

## 2.2 RSECE

O RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios nasceu de uma revisão do RQSECE - Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios em 1998. Este regulamento vem complementar o RCCTE e a sua principal preocupação é a de melhorar a eficiência energética dos sistemas energéticos instalados. Esta melhoria de eficiência passa pela limitação da potência dos equipamentos instalados em cada fracção, sempre que a potência de aquecimento ou arrefecimento seja superior a 25 kW ou que a soma destas seja superior a 40 kW. Ou seja, esta medida vem impedir que seja instalado um equipamento com uma potência bastante mais elevada do que aquela que é efectivamente necessária. Este excesso de potência irá conduzir a um elevado custo do equipamento e consequentes exageros nos custos de manutenção durante o período de funcionamento. Esta é uma medida que tem influência nos custos iniciais e também na eficiência do sistema. As restantes medidas impostas pelo RSECE têm uma incidência maior sobre os consumos de energia, obrigando por exemplo à recuperação de energia ou à adopção de procedimentos de ensaio e de recepção das instalações e de manutenção ao longo do período de funcionamento do equipamento. A constante manutenção dos sistemas energéticos presentes no

edifício, é uma imposição do RSECE que visa manter a qualidade e a quantidade do ar, respeitando as imposições legais ao longo de todo o período de funcionamento e não apenas numa fase inicial. Desta forma não é posta em risco a saúde nem o bem estar dos ocupantes. [2]

Com a verificação do aumento do consumo energético no sector dos edifícios, desde os últimos anos da década de 90 até sensivelmente 2001, foi necessário proceder-se a nova revisão do RSECE. Em 2006 foi efectuada essa revisão que teve como objectivos estabelecer:

- "(...) requisitos relativos às condições de conforto térmico e de higiene (QAI) dos espaços em função das actividades a que se destinam, adoptando as Normas Nacionais e Internacionais no âmbito do CEN (Comité Européen de Normalisation) e da ISO (International Organization for Standardization) e critérios da Organização Mundial de Saúde;
- requisitos mínimos de desempenho energético, promovendo a limitação de todos os tipos de consumo através da adopção de métodos detalhados de previsão dos consumos de energia para os edifícios a construir e nas grandes reabilitações e, para os edifícios existentes, pela realização de auditorias destinadas a avaliar o desempenho dos edifícios a partir dos consumos de energia por utilização final, em concordância com a metodologia definida pelo Sistema Nacional de Certificação Energética e de Qualidade do Ar no Interior dos Edifícios (SCE)." (retirado do Cap. 1 RSECE)

Estes são os principais objectivos que o RSECE tem no que diz respeito às condições no interior dos edifícios. No que diz respeito à área da climatização o RSECE tem como objectivos essenciais impor:

- "(...) regras de eficiência, de forma a melhorar o desempenho energético, devendo os projectistas, para tal, recorrerem sempre que possível a sistemas centralizados e a componentes eficientes, do tipo recuperador de calor, arrefecimento gratuito, sistemas de gestão centralizada, etc., bem como a sistemas baseados em energias renováveis, sempre que haja viabilidade económica;
- práticas de manutenção e monitorização conducentes à eficiência energética dos sistemas e a uma boa qualidade do ar interior." (retirado do Cap. 1 RSECE) [2]

### **2.2.1 Parâmetros de Verificação do RSECE**

Analogamente ao que se verifica com o RCCTE também o RSECE impõe uma série de limitações para que um edifício se encontre em situação regulamentar. Enquanto que no caso do

RCCTE as limitações envolviam questões construtivas e de necessidades energéticas do espaço, o RSECE vai impor uma série de procedimentos de ensaio e manutenção ao longo do período de funcionamento do sistema de climatização e vai ainda impor um valor limite para o Índice de Eficiência Energética, IEE. Este índice, tal como o nome indica vai avaliar até que ponto a fracção em estudo tem um perfil eficiente do ponto de vista energético, para que posteriormente o SCE possa avaliar e atribuir uma nota a essa mesma fracção e pode ser calculado de acordo com dois métodos:

- Abordagem Simplificada, em que as facturas energéticas são analisadas;
- Auditoria Energética, em que é efectuada uma simulação e análise;

Através do primeiro método é efectuada uma análise das facturas energéticas do edifício em estudo. Dessa análise é retirado o consumo anual global de energia e posteriormente convertido em unidades de energia primária. É importante referir que não basta analisar as facturas referentes à electricidade mas também as que são referentes a combustíveis, como por exemplo a conta do gás. Desta forma e após efectuar a conversão acima referida estão reunidos os dados necessários ao cálculo do Índice de Eficiência Energética do edifício, aplicando esses mesmos dados na seguinte equação:

$$IEE_{real} = \frac{Q_{global}}{A_p} \quad (kgep/m^2 \cdot ano) \quad 4)$$

Utilizando o segundo método para efectuar o cálculo do IEE é necessário um estudo detalhado sobre as condições em que o edifício irá funcionar, entre elas:

- Determinação dos fluxos de energia do edifício (electricidade, combustíveis fósseis, etc.)
- Caracterização de todos os sistemas energéticos presentes, incluindo estado de conservação, rendimentos e planos de manutenção;
- Verificação do estado de conforto higró-térmico no interior do espaço;
- Avaliação dos consumos específicos de cada sector no edifício, tais como ventilação, climatização, iluminação, etc.;

Uma vez efectuada o estudo e obtidas todas as informações acima referidas, estão reunidas as condições para se efectuar o cálculo do IEE do edifício. Na eventualidade de se conseguir proceder a uma melhoria na eficiência energética do edifício, essa ocorrerá neste ponto, sendo posteriormente efectuada novo estudo afim de se verificar a melhoria pretendida.

Concluindo, é possível afirmar que o RSECE tem como principais objectivos estabelecer limites mínimos de eficiência energética nos edifícios e garantir a qualidade de todo

o ar que é insuflado para o interior dos espaços, de maneira a que a saúde e o bem estar dos ocupantes não é colocada em risco. [2]

## **2.3 Ferramentas de Verificação**

Para que a aplicação dos regulamentos, considerados eles por si próprios como ferramentas, fosse efectuada de forma mais simples foram desenvolvidos programas que calculam os parâmetros de relevo para a análise energética de um edifício e verificam qual o seu estado em relação à regulamentação em vigor. Desta forma torna-se mais simples a aplicação dos regulamentos. Neste capítulo serão apresentadas as duas ferramentas utilizadas durante o estudo, sendo que a primeira assume um papel muito mais importante neste estudo.

### **2.3.1 RCCTE-STE 2006**

O software utilizado para este estudo foi o RCCTE-STE 2006 (versão 3.0). Este foi um software desenvolvido pelo INETI e actualmente existe já no mercado a versão 4.0. Este programa possui um método de simulação simplificado que se baseia no disposto na norma prEn ISO 13790 - Thermal performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling (ISO/DIS 13790-2005).

Na prática este software realiza uma primeira verificação do edifício ao abrigo do RCCTE e posteriormente, se o edifício se encontrar nas condições requeridas pelo RSECE, o programa irá também efectuar uma verificação quanto a este último regulamento. Na última fase o programa fornecerá ao utilizador todos os dados calculados e que são alvo de análise para a regulamentação ou não de um espaço (Necessidades Energéticas e IEE, entre outros). Este é o princípio de funcionamento deste software de forma simplificada. Realizando uma aproximação mais concreta ao método de funcionamento do programa, é necessário referir que este integra uma base de dados aberta, isto é, o utilizador vai acrescentando modelos e soluções construtivas que posteriormente poderão ser utilizados noutro estudo. Também na base de dados estão incluídos os dados climáticos referentes a Portugal Continental e ilhas, dados esses que foram gerados pelo INETI e que se encontram, como é óbvio, de acordo com o RCCTE e RSECE. [17]

O método de cálculo utilizado pelo programa tem como base um circuito reo-eléctrico (resistências e capacitâncias), tal como se pode verificar na figura seguinte:

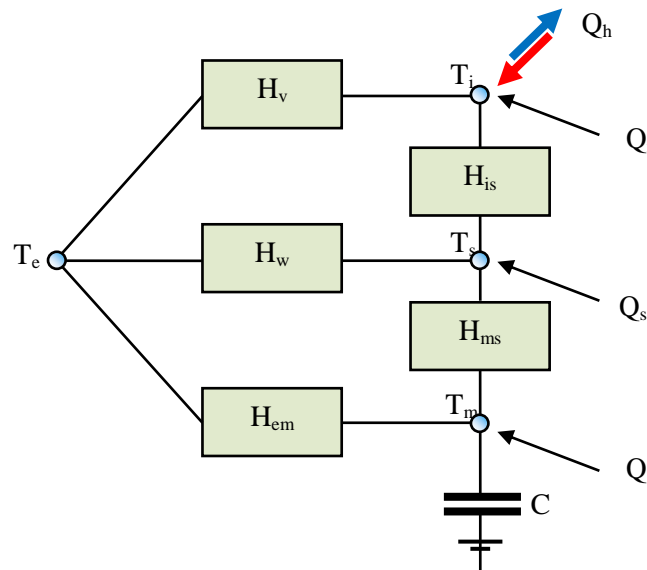


Figura 2.1 - Modelo de RC equivalente (5 resistências e 1 capacitância)

Tal como já referido o programa STE-2006 irá efectuar o cálculo das necessidades energéticas (aquecimento e arrefecimento) para que a temperatura interior seja mantida constante e às temperaturas definidas no programa e que têm como valores padrão  $T_i = 20\text{ °C}$  para o Inverno e  $T_i = 25\text{ °C}$  para o Verão. As restantes temperaturas presentes no diagrama acima e que correspondem a cada nó são:

- $T_m$  - Temperatura média da massa térmica dos elementos do espaço;
- $T_s$  - Temperatura média nas superfícies interiores da envolvente;
- $T_e$  - Temperatura exterior;

Enquanto que os nós presentes no diagrama representam as diversas temperaturas, os blocos irão representar as trocas de calor presentes no sistema. São elas:

- $H_v$  - Trocas causadas pela renovação de ar;
- $H_w$  - Condução de calor através dos vãos envidraçados (elementos sem massa térmica);
- $H_{em} + H_{ms}$  - Trocas de calor através dos elementos com massa térmica em que:
  - $H_{em}$  traduz condução de calor através da envolvente opaca (sem ter em conta o efeito da radiação solar incidente);
  - $H_{ms}$  a transferência de calor entre a massa de armazenamento térmica e a superfície;
- $H_{is}$  - Trocas radiativas e convectivas entre as superfícies da envolvente interior.

Através deste método o programa irá efectuar o cálculo horário do balanço dinâmico do espaço entre as perdas e os ganhos térmicos por toda a envolvente exterior do edifício. Os ganhos internos e as perdas devido à ventilação são também considerados e a energia armazenada na massa térmica em cada momento também o é. No diagrama estes fluxos e resistências térmicas estão representados e têm o seguinte significado:

- $Q_{hc}$  - energia necessária para climatização (aquecimento e arrefecimento resultante do balanço horário do espaço).
- $Q_v$  - ganhos ou perdas de calor correspondentes à renovação do ar, calculada a partir da taxa de renovação nominal aplicável e admitindo-se regime permanente (resistência  $H_v$ );
- $Q_w$  - ganho ou perda de calor correspondente às trocas de calor por condução através dos vãos envidraçados, calculada conforme o modelo do RCCTE - Anexos IV e V, admitindo-se regime permanente (resistência  $H_w$ );
- $Q_{em}$  - ganho ou perda de calor correspondente às trocas de calor por condução através da envolvente opaca, sem ter em conta o efeito da radiação solar incidente, admitindo-se regime permanente (resistência  $H_{em}$ );
- $Q_g$  - ganhos internos totais instantâneos (ocupação, equipamentos e da iluminação), ganhos solares através dos envidraçados, e ganhos solares através da envolvente opaca, tendo em conta o efeito da inércia térmica do espaço. Os ganhos através da envolvente opaca exterior resultam do efeito combinado da temperatura do ar exterior e da radiação solar incidente tendo sido aplicado o conceito de temperatura ar-sol correspondente a cada uma das orientações da envolvente exterior (paredes e coberturas). Relativamente aos ganhos internos, o regulamento, estabelece padrões de referência para cada uma das tipologias no que diz respeito aos ocupantes, iluminação e equipamentos.

### **2.3.2 Folha de Cálculo do RCCTE - Excel**

Esta ferramenta de cálculo e aplicação do RCCTE é uma folha simples do Excel, que contém as tabelas de inserção de dados relativas ao edifício que se pretende estudar. Contém todas as folhas presentes no Regulamento e o utilizador necessita de introduzir as características geométricas e térmicas de cada elemento, tal como acontece quando se utiliza o STE.

Neste caso é necessário que o utilizador seja conhecedor dos regulamentos uma vez que esta ferramenta não verifica se todos os elementos que constituem o edifício estão de acordo com os limites impostos pelo RCCTE.

### 3 Caso de Estudo - Edifício Base

Para realizar o estudo energético pretendido foi projectado um edifício de arquitectura bastante simples. Dado que se pretende compreender e tentar antever quais as respostas energéticas quando algumas características do edifício são alteradas, não seria necessário realizar este estudo num edifício real. Como tal, o edifício em causa, denominado de "Edifício Base", terá uma forma paralelepipedica possuindo, portanto, uma cobertura horizontal. O edifício terá as paredes de menor dimensão voltadas a Norte e Sul e as paredes de maior dimensão voltadas a Este e Oeste. Para que os ganhos solares sejam estudados, cada parede terá vãos envidraçados. No que diz respeito à sua vizinhança, o edifício encontrar-se-á isolado, não existindo qualquer outro edifício em contacto.

No que diz respeito ao interior do edifício e uma vez que este foi projectado para que possa ocorrer qualquer alteração no tipo de ocupação, não existem paredes no seu interior. Trata-se de um grande edifício de serviços que funcionará em *open-space*.

É ainda importante referir que além de não existir nenhum tipo de sombreamento provocado por edifícios vizinhos ou por qualquer elemento natural (vegetação, por exemplo) também não são consideradas palas de sombreamento no edifício, sejam elas horizontais ou verticais.

Na figura seguinte pode ser visto o aspecto exterior do Edifício Base.

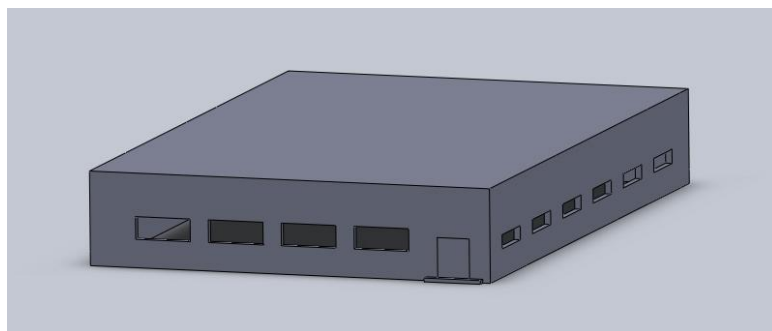


Figura 3.1 - Edifício Base visto do Exterior

### 3.1 Localização do Edifício

O Edifício Base irá estar localizado no concelho de Almada, mais propriamente no Monte da Caparica. A altitude neste local será de 100 metros e a distância ao litoral é de aproximadamente 4 km.

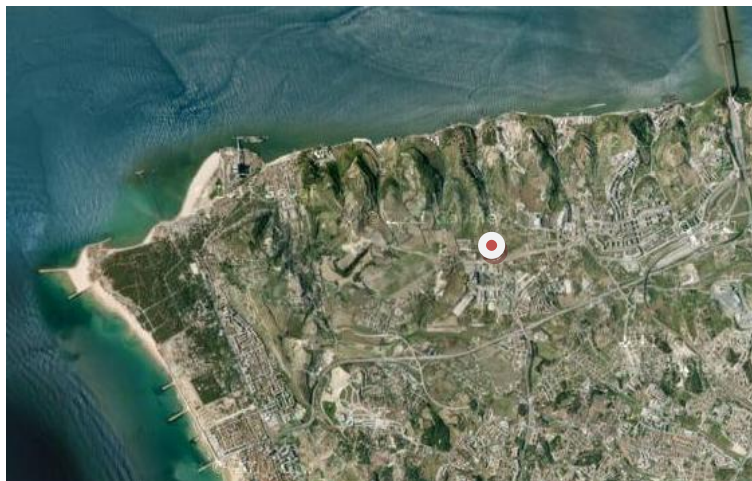


Figura 3.2 - Localização Geográfica do Edifício Base [Google Maps]

O edifício Base está inserido na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural. Neste caso não existem todos os sombreamentos existentes num meio urbano nem se considera que o edifício se encontre numa posição demasiado exposta.

De acordo com o RCCTE, Portugal encontra-se dividido em várias zonas climáticas. Para a estação de aquecimento existem 3 zonas ( $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$ ), as mesmas são consideradas para a estação de arrefecimento ( $V_1$ ,  $V_2$  e  $V_3$ ). No quadro III.1 do RCCTE está presente a distribuição dos concelhos de Portugal segundo as zonas climáticas referidas. Desse quadro retira-se que o Edifício Base se encontra localizado num concelho cujas zonas climáticas são  $I1/V1$ .

No referido quadro não estão somente as zonas climáticas de cada concelho mas também outras características térmicas e dados que serão posteriormente utilizados nos cálculos de verificação e aplicação do RCCTE. No Anexo I encontra-se uma tabela com os dados referentes a todos os concelhos considerados para o estudo.

### 3.2 Estrutura do Edifício

Qualquer edifício tem necessariamente uma estrutura que será o suporte da construção. O Edifício Base não é excepção e terá também uma estrutura em betão, estrutura essa que será composta por vários elementos como se pode constatar na figura 3.3.



Para que o edifício tivesse a forma paralelepípedica pretendida, foi admitido que a cobertura horizontal seria do tipo terraço invertido. Um cobertura destas, como se verificará com o cálculo das massas superficiais dos vários elementos, tem um peso considerável pelo que é necessária a existência de pilares distribuídos por toda a área coberta para que a estrutura seja capaz de suportar a cobertura, sem colocar em risco a estabilidade do edifício. O facto de este espaço ser puramente teórico, não implica que todos estes pormenores sejam descurados, dado que este estudo pretende ser o mais aproximado possível de uma situação real. Como tal, os pilares estarão a uma distância de 5 metros de qualquer outro pilar, resultando na existência de 15 pilares no interior do espaço. A este número, somam-se todos os pilares que delimitam o espaço e que podem ser vistos na figura seguinte:

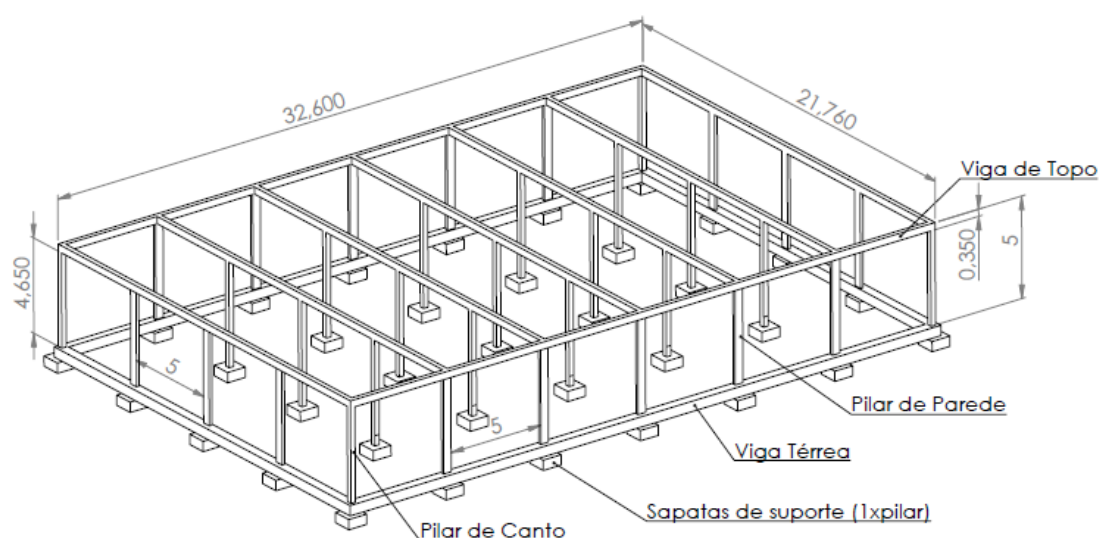


Figura 3.3 - Estrutura de Betão do Edifício Base

Tal como pode ser visto na figura a estrutura é composta por vários elementos. Cada um tem a sua função específica e as respectivas dimensões.

### 3.2.1 Pilares Interiores

Como referido atrás, de maneira a garantir que o peso da cobertura é suportado, estão dispostos no interior do espaço 15 pilares. Estes pilares são de secção quadrada e cada aresta tem 0,25 m de comprimento.

### 3.2.2 Pilares de Canto

Tal como o nome indica estes pilares estão colocados nos cantos do edifício. As dimensões dos pilares de canto são as mesmas dos pilares interiores, ou seja, são pilares com secção quadrada e com a aresta de 0,25 m de aresta.

### 3.2.3 Pilares de Parede

Tal como no caso anterior a designação dada a este conjunto de pilares revela de imediato a sua localização na estrutura do edifício. Estes pilares irão estar dispostos ao longo do perímetro do edifício, estando inseridos nas paredes. Ao contrário dos outros já referidos, os pilares de parede têm secção rectangular com as arestas maiores a medirem 0,42 m e as menores 0,15 m.

### 3.2.4 Outros Elementos na Estrutura de Betão

Como visto na figura 3 existem outros elementos presentes na estrutura. Eles são:

- Sapatas de Suporte - Estes elementos estão enterrados debaixo de solo e sobre cada uma está assente um pilar (de qualquer tipo);
- Viga Térrea - Esta viga irá definir o perímetro do edifício. Sobre ele irão assentar os pilares de canto e parede e consequentemente as paredes exteriores;
- Vigas de Topo - Estas vigas irão fazer a ligação entre os pilares no topo do edifício e será sobre estes elementos que irá ser aplicada a cobertura.

## 3.3 Envolvente Opaca

### 3.3.1 Paredes

Uma vez que o Edifício Base irá funcionar em *open-space*, as únicas paredes existentes são as paredes exteriores. Paredes essas que são duplas com isolamento preenchendo totalmente a caixa de ar. As duas superfícies das paredes irão ser revestidas a reboco tradicional. A disposição dos elementos na parede pode ser constatado na figura 4.

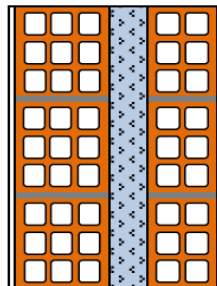


Figura 3.4 - Esquema da Parede

Sendo uma parede dupla e tal como se vê na figura existem dois panos de alvenaria na sua constituição. Aquele que se situa do lado exterior ao isolamento será de Tijolo 11 enquanto que o que se situa do lado interior ao isolamento será de Tijolo 15. O isolamento que preenche a caixa de ar é um isolamento amplamente utilizado na construção na construção de edifícios, sendo ele o poliestereno extrudido em placas, vulgo XPS WallMate.

Em relação às características térmicas da parede e de todos os seus constituintes poderá ser consultada nos anexos a tabela que serviu de apoio ao cálculo do coeficiente global de transmissão térmica da mesma -  $U_{parede}$ . Desses cálculos resulta que:

$$U_{parede} = 0,39 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$$

### 3.3.2 Cobertura

Como já foi referido a cobertura do edifício é do tipo terraço invertido. Para que seja possível reduzir o pé direito do espaço consoante o tipo de utilização no seu interior é ainda aplicado um tecto falso através de uma placa de MDF. Sendo assim, o terraço invertido é composto por uma camada de brita que está disposta pelo isolante. O isolante (mesmo material isolante que o utilizado nas paredes - XPS RoofMate) está assente numa placa de betão. Como se considera a utilização de tecto falso, entre a placa de betão e a placa de MDF irá existir uma caixa de ar. Na figura seguinte pode ser vista a disposição dos elementos da cobertura. (Nota: a espessura dos elementos constituintes da cobertura não se encontra representada à escala servindo esta imagem apenas para que melhor se compreenda a ordem de aplicação dos vários elementos.)

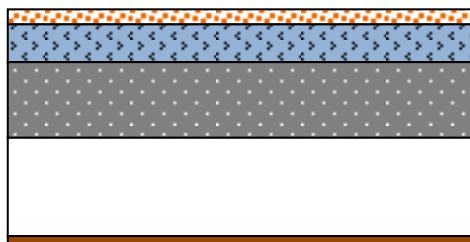


Figura 3.5 - Esquema da Cobertura

Tal como no caso da parede, está presente em anexo a tabela com as características térmicas dos constituintes da cobertura.

Como se trata de um elemento horizontal, o valor de  $U$  irá ser diferente para a estação de aquecimento e de arrefecimento. Este facto verifica-se porque as resistências térmica superficial interior é diferente consoante a estação. Na tabela seguinte podem ser vistos os valores dessas mesmas resistências para os dois casos:

**Tabela 3.1- Valores das Resistências Térmicas Superficiais**

	$R_{si}$	Ser
Estação de Aquecimento	0,100	0,040
Estação de Arrefecimento	0,170	0,040

Fazendo o somatório das Resistências Térmicas dos elementos com as Resistências Superficiais e efectuando o cálculo de forma análoga ao efectuado para o caso da parede, determinam-se os valores do Coeficiente Global de Transmissão Térmica.

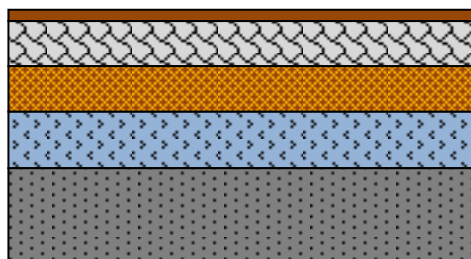
Como tal, para as duas estações de referência, o coeficiente global de transmissão térmica da cobertura é:

**Tabela 3.2- Valores do Coeficiente Global de Transmissão Térmica da Cobertura**

Estação de:	$U_{cobertura}$ [ W / m <sup>2</sup> .C ]
Aquecimento (fluxo ascendente)	0,436
Arrefecimento (fluxo descendente)	0,411

### 3.3.3 Pavimento

O pavimento do Edifício Base está na sua totalidade em contacto com o solo. Por este motivo e com o intuito de minimizar as perdas de calor e consequentemente as Necessidades Energéticas, é isolado em toda a sua área com material isolante XPS - FloorMate. No que diz respeito a revestimento interior, o material escolhido é o acrílico, uma vez que o espaço irá ser utilizado para escritórios, logo, um tapete de acrílico em toda a área de pavimento parece ser a melhor escolha. O revestimento será aplicado sobre uma camada de argamassa que está assente numa "cama" de areia. Será sob a areia que estará o isolante, estando este sobre a laje de betão que se encontra imediatamente acima do solo. Na figura seguinte pode ser vista a disposição dos vários elementos que constam no pavimento.



**Figura 3.6- Esquema do Pavimento**

Tal como efectuado para os restantes elementos da envolvente opaca do edifício, a tabela com as características térmicas de todos os constituintes está presente nos anexos onde

poderá ser consultada. Com os valores presentes nessa tabela foi possível calcular o coeficiente U.

$$U_{pavimento} = 0,558 \text{ W/m}^2.\text{C}$$

### 3.4 Vãos Envidraçados

Como consta na breve descrição do Edifício Base existem vãos envidraçados nas 4 paredes. Dado que se pretendia um edifício com um alto índice de simplicidade, toda a área envidraçada respeita esta condição. As características dos vãos envidraçados são:

- Vãos Simples;
- Vidro Duplo com lâmina de ar de 16 mm (fig. 3.7);
- Caixilharia em Plástico;
- Cortinas Interiores muito transparentes;
- Na estação de aquecimento considera-se a utilização de estores venezianos de lâminas metálicas (fig. 3.8);

Podem ser vistas nas figuras seguintes algumas características dos vãos envidraçados considerados para o edifício base:



Figura 3.7 - Exemplo Ilustrativo de Vidro Duplo



Figura 3.8 - Exemplo Ilustrativo de Estores Venezianos de Lâminas Metálicas

Quando se caracteriza um vão envidraçado não é somente o coeficiente U que interessa. A outra característica bastante relevante deste elemento quando se efectua um estudo energético a um edifício é o factor solar desse envidraçado. Todos os vidros ou materiais semelhantes

utilizados como vão envidraçado possuem um valor, dependendo do vão ser constituído por vidro duplo ou simples e, claro está, do material que o compõe. Para o caso do edifício base esse factor toma o valor:

$$g_{vidro} = 0,63$$

Uma vez que na estação de arrefecimento é considerada a protecção, é necessário saber qual o factor solar da protecção escolhida. Para o caso dos estores venezianos de lâminas metálicas tem-se que:

$$g_{protecção_{100\%}} = 0,09$$

Dado que para uma estação a protecção é considerada e para a outra não, é fácil depreender que o factor solar do vão envidraçado não é constante ao longo de todo o ano. Na estação de aquecimento verifica-se que:

$$g_{Inverno} = g_{vidro} \quad 5)$$

Já na estação de arrefecimento, como referido atrás, a protecção solar é considerada pelo que o factor solar do vão envidraçado será:

$$g_{Verão} = (0,3 * g_{vidro}) + (0,7 * g_{protecção_{100\%}}) \quad 6)$$

Então os factores solares do edifício base serão:

$$g_{Inverno} = 0,63$$

$$g_{Verão} = 0,25$$

No que diz respeito ao coeficiente global de transmissão térmica, para o edifício base este toma o valor:

$$U_{Vão\ Envidraçado} = 2,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$$

Todos os demais factores necessários para o cálculo dos ganhos solares através dos vãos envidraçados estão presentes nos anexos onde poderão ser consultados.

### **3.5 Levantamento das características do edifício**

Como se pode verificar através das leis que servem de base à transmissão de calor e com o objectivo de quantificar as trocas de calor com exterior através de toda a envolvente do

edifício, todas as dimensões são relevantes. Por este motivo é fundamental efectuar um levantamento tão rigoroso quanto possível das dimensões do edifício. Após efectuado o levantamento, o cálculo das trocas de calor efectua-se através das seguintes fórmulas.

$$Q = l \cdot \Psi \cdot \Delta T \quad 7)$$

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta T \quad 8)$$

No caso da equação 7) ela servirá para efectuar os cálculos respeitantes às Pontes Térmicas Lineares enquanto que a equação 8) será utilizada no cálculo das transmissão de calor que obedecem à Lei de Fourier. [7]

Nas tabelas seguintes estão reunidas as dimensões necessárias aos cálculos para a aplicação do RCCTE. Numa primeira tabela podem ser encontrados os comprimentos (medidos pelo interior do espaço, pois é dessa forma que são contabilizados) que servirão para calcular as perdas através das pontes térmicas lineares, enquanto que na segunda tabela estarão as áreas a aplicar na Lei de Fourier.

**Tabela 3.3 - Levantamento dos Comprimentos do Edifício**

<u>Elemento</u>	<u>Comprimento [ m ]</u>
Pé Direito	4,32
Comprimento	32,07
Largura	21,23
Perímetro	106,60

**Tabela 3.4 - Levantamento das Áreas do Edifício**

<u>Elemento</u>	<u>Área [ m<sup>2</sup> ]</u>
Cobertura	697,91
Pavimento	697,91
Paredes Norte e Sul	71,87
Paredes Este e Oeste	115,97
Envidraçados Norte e Sul	14,40
Envidraçados Este e Oeste	13,50
Pilares nas Fachadas Norte e Sul	5,44
Pilares nas Fachadas Este e Oeste	9,07

Para se efectuar o cálculo das transmissões de calor através da Lei de Fourier também é necessário o Coeficiente Global de Transmissão Térmica - U. Na tabela seguinte estão reunidos os diferentes valores do coeficiente U para cada elemento.

Tabela 3.5 - Valores de U para os vários Elementos

<u>Elemento</u>		<u>U [ m<sup>2</sup>.C/W ]</u>
Cobertura	Verão	0,411
	Inverno	0,436
Pavimento		0,558
Paredes Norte e Sul		0,390
Paredes Este e Oeste		0,390
Envidraçados ( todos )		2,700
Pilares nas Fachadas Norte e Sul		0,450
Pilares nas Fachadas Este e Oeste		0,450

Como se verificará numa fase posterior o edifício com as características acima mencionadas encontra-se em situação regulamentar segundo o RCCTE e também segundo o RSECE.

## 3.6 Aplicação das Ferramentas de Verificação ao Edifício Base

### 3.6.1 RCCTE - STE 2006 (Verificação do RCCTE)

Após a breve descrição do método de funcionamento do software utilizado e de todas as características do edifício que serão necessárias para que seja efectuado o estudo, estão reunidas as condições para que este se inicie. A introdução dos dados relativos ao edifício é efectuada de forma bastante intuitiva, pelo que se pode afirmar que o interface com o utilizador é relativamente simples. Numa primeira fase os dados a introduzir são relativos à localização e condições de utilização do espaço. Essa inserção de dados pode ser vista na figura 3.9.



Figura 3.9 - Interface com STE 2006 (1)

Este software permite efectuar o estudo energético a um edifício de cada vez, no entanto esse edifício pode ser constituído por várias fracções autónomas. No caso do Edifício Base, como este funciona em *open-space* só existirá uma fracção autónoma. Então, após o edifício estar definido é necessário definir as características gerais da fracção autónoma. Nessa fase serão inseridas no programa os dados quanto ao tipo de ocupação, tipo de sistema de climatização, tipo de sistema de ventilação e necessidades de AQS. É importante referir que para que o edifício base estar em condições de a ele ser aplicado o RSECE necessita de uma potência instalada superior a 25 kW. No entanto, nesta primeira fase será efectuado apenas a aplicação do RCCTE. Para isso, basta definir no quadro referente à potência instalada (figura 3.1) um valor que não obrigue a aplicação do RSECE (24 kW).

RCCTE-STE

Alterar dados gerais...

Tipo de sistema de climatização:  
Aquecimento e Arrefecimento

Código do sistema de climatização:  
TESE

Sistema de climatização:  
ESTUDO

Sistema de aquecimento:  
Bomba de calor

ηi: 4 Fpu: 0,29 Potência aquecimento (kW): 24

Sistema de arrefecimento:  
Bomba de calor

ηv: 3 Fpu: 0,29 Potência arrefecimento (kW): 24

Fracção autónoma S. de climatização Ventilação AQS

Confirmar Cancelar

Figura 3.10 - Potências Instaladas (aquecimento e arrefecimento) inferiores a 25 kW

As dimensões gerais (área útil e pé direito) da fracção autónoma são também elas definidas nesta fase. Após a inserção dos dados referentes às questões dimensionais e a caracterização dos sistemas de climatização e características do edifício quanto à ventilação (se natural ou natural e mecânica) dar-se-á início à caracterização térmica dos elementos construtivos do edifício.

É nesta fase que o interface com o utilizador se torna um pouco ambíguo. Enquanto que a introdução das características físicas e térmicas de cada elemento se processa de forma bastante simples, a necessidade de criação de códigos para cada elemento pode numa fase inicial revelar-se pouco intuitiva. No entanto, não é de todo complicado o uso do programa nesta fase. Para cada elemento e aí são inseridas as características desse mesmo elemento. Na figura seguinte podem ser vistas as características da parede que se encontra voltada a Este:

**RCCTE-STE - [Paredes exteriores]**

Edifícios Fracções Autônomas Acção Folhas de Cálculo Ferramentas Ajuda

Soluções de construção

- Envoltente opaca
  - Paredes
    - Exteriores
    - Int. em conta
    - De separação
    - De compartim
  - Coberturas
  - Pavimentos
  - Elementos em contacto com
  - Pontes térmicas
  - Envidraçados
  - Portas

Código: TESE - E Código da solução: XPS6cm

Área (m²): 115,97 Orientação: Este Cor: Clara

Parede: Reboco+Tijolo15+XPS6cm+Tijolo11+Reboco

Localização do isolamento: Caixa de ar Solução de construção: Preenchendo totalmente a caixa de ar

Isolamento: XPS Espessura (m): 0,06

Revestimento interior: Reboco Espessura (m): 0,015

mt (kg/m²): 219,1 λ isol. (W/m °C): 0,037 U (W/m² °C): 0,39

mi (kg/m²): 124,25 λ rev. (W/m °C): 0,35

Limpar Inserir Alterar Eliminar

Figura 3.11 - Inserção de Dados relativos à parede voltada a Este

Além das características térmicas da parede e de alguns dos seus constituintes é também necessário indicar qual a sua massa superficial, para que seja contabilizada no cálculo da inércia térmica do edifício. No que diz respeito à envoltente opaca o interface é semelhante para todos os elementos.

A introdução das características dos vãos envidraçados efectua-se também ela de forma simples. Todos os factores relativo a cada vão envidraçado são automaticamente preenchidos após a selecção da orientação do vão. A envoltente do edifício está já definida pelo que não restam mais factores. Na figura seguinte podem ser vistos todos os factores, assim como as restantes características do vão envidraçado voltado a Este:

**RCCTE-STE - [Envidraçado vertical exterior]**

Edifícios Fracções Autônomas Acção Folhas de Cálculo Ferramentas Ajuda

Soluções de construção

- Envoltente opaca
  - Paredes
    - Exteriores
    - Int. em conta
    - De separação
    - De compartim
  - Coberturas
  - Pavimentos
  - Elementos em contacto com
  - Pontes térmicas
  - Envidraçados
    - Verticais exteriores
    - Horizontais exteriores
    - Verticais interiores
  - Portas

Código: TESE - E Código da solução: base1

Área (m²): 13,5 Orientação: Este

Tipo de vão envidraçado: Simples Tipo de envidraçado: Duplo Esp. da lâm. de ar (m): 0,016

Envidraçado: com cortinas interiores muito transparentes

Caixilho: Plástico

Disp. protecção solar: estore veneziano de laminas metalicas

Boa estanquidade ao ar: Sim Cor da protecção solar: Clara Caixa de estore: Não

Âng. com o horizonte: 0 Âng. da pala horizontal: 0 Âng. da pala esquerda: 0 Âng. da pala direita: 0

Xj: 0,56 Fs Inv.: 0,9 Fw Inv.: 0,9 U (W/m² °C): 2,7 g Vidro: 0,63 g Inv.: 0,63

Fg: 0,7 Fs Ver.: 0,9 Fw Ver.: 0,85 g Ver.: 0,25

Figura 3.12 - Inserção de Dados relativo ao Vão Envidraçado voltado a Este

Uma vez definido o edifício, é escolhida a opção "Verificar Regulamentos". Uma vez que neste caso o edifício não reúne as condições necessárias à aplicação do RSECE, apenas o RCCTE será aplicado. Na eventualidade de algo não estar de acordo com este regulamento surgirá uma mensagem de erro. Caso o edifício se encontre em situação regulamentar, o output do software será o conjunto de todas as fichas onde constam todas as características do edifício que foram introduzidas pelo utilizador assim como todos os parâmetros calculados pelo software. Nos anexos poderá ser consultado o conjunto das fichas referente ao Edifício Base.

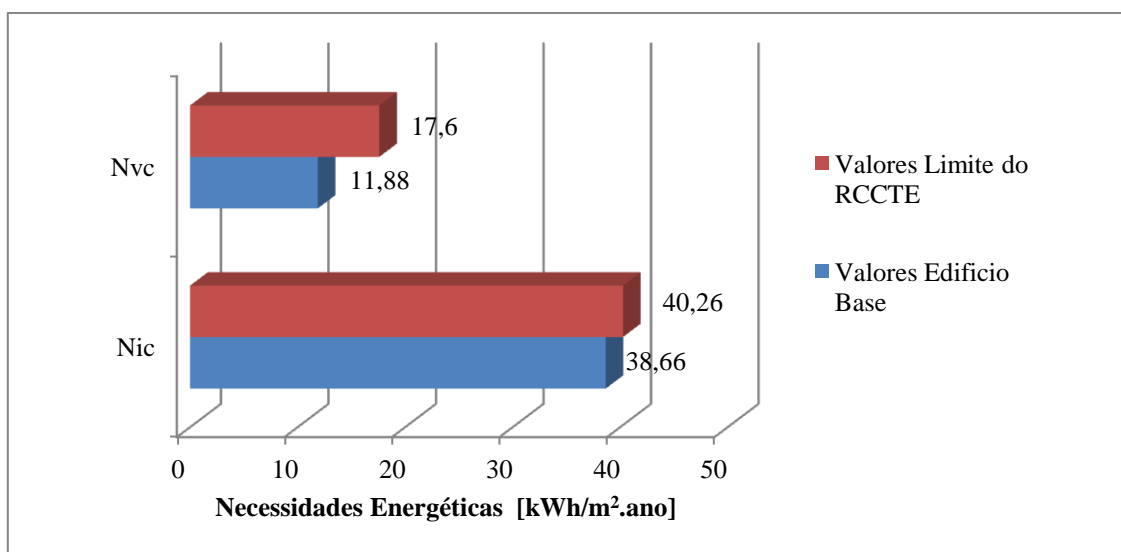
### 3.6.1.1 Resultados Obtidos com o Software

Depois de utilizado o software no estudo do edifício base foram obtidos valores para vários parâmetros que o avaliam do ponto de vista energético. Esses resultados estão presentes na tabela seguinte e servirão de base de comparação para todas as alterações que posteriormente serão realizadas no edifício.

**Tabela 3.6 - Output do Software relativo ao RCCTE**

	Necessidades Nominais de: [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	
	Aquecimento	Arrefecimento
Edifício Base	38,66	11,88

Estes são os parâmetros que avaliam o espaço. Comparando com os valores de referência do RCCTE é possível ter uma ideia do nível de eficiência energética do edifício.



**Figura 3.13 - Comparação entre os valores limite e os valores reais das Necessidades Energéticas**

Os valores limites de referência que o RCCTE impõe não são os considerados pelo STE. O software utilizado é mais exigente e para que o edifício seja considerado regulamentar as necessidades energéticas têm de ser inferiores a 80 % dos valores admitidos no regulamento. Daí os valores presentes no gráfico acima.

Como se pode verificar pela proximidade das barras que dizem respeito às Necessidades de Aquecimento, este edifício apesar de se encontrar em situação regulamentar está bastante perto do limite. Enquanto que na estação de arrefecimento ainda existe alguma distância entre os valores limite e os reais, na estação de aquecimento a proximidade vem mostrar que o edifício não tem um bom desempenho e tem uma elevada necessidade de aquecimento. Será então importante perceber como se pode melhorar esta situação. Posteriormente será efectuada uma análise às perdas e ganhos no edifício e dessa forma será então perceptível o que poderá ser melhorado.

### **3.6.2 Folha de Cálculo do Excel (Verificação do RCCTE)**

Como já referido, foi também utilizada uma folha de cálculo do Microsoft Office Excel para aplicar o RCCTE ao edifício base. Neste caso, esta folha de cálculo apenas avalia as necessidades energéticas para verificar se o edifício se encontra, ou não, em situação regulamentar.

De facto, para se utilizar este método de cálculo para a aplicação do RCCTE é necessário ter um conhecimento prévio do regulamento e analisar todos os elementos construtivos passíveis de tornar o edifício não regulamentar. Por exemplo, como foi já referido, o coeficiente global de transmissão térmica de uma parede tem um valor máximo imposto pelo RCCTE, consoante a zona climática a que o edifício pertença, que terá obrigatoriamente de ser respeitado. Se o STE identifica de imediato se esse valor é ultrapassado e informa o utilizador de que o edifício não se encontra regulamentar, a folha de cálculo do Excel não o faz e efectua os cálculos sem identificar esse problema. Este é o grande problema que está associado à utilização da folha de cálculo do Excel

Comparando com o STE, o interface com o utilizador é bastante básico, não sendo necessário nenhum conhecimento adicional de programação ou qualquer formação relacionada com o uso do Excel. No entanto e como já referido, é necessário conhecer o regulamento para que se possa utilizar esta ferramenta com a segurança de que não se está a violar qualquer das imposições que o RCCTE aplica.

Na figura 3.18 pode ser visto o método de introdução dos dados relativos a todas as paredes exteriores. Na tabela que se pode ver na figura estão incluídas as PTP presentes nas 4 paredes.

Folha de cálculo FC IV. 1a			
Perdas associadas à envolvente exterior			
<b>Paredes Exteriores</b>	<b>Área</b>	<b>U</b>	<b>U.A</b>
<i>(incluindo pontes térmicas planas)</i>	<i>(m<sup>2</sup>)</i>	<i>(W/m<sup>2</sup>.°C)</i>	<i>(W/°C)</i>
Norte	71,87	0,39	28,03
Sul	71,87	0,39	28,03
Este	115,97	0,39	45,23
Oeste	115,97	0,39	45,23
PTP - 4 paredes	29,02	0,45	13,06
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
	404,7	TOTAL	159,57

Figura 3.14 - Inserção de dados relativos às paredes na Folha de Cálculo do Excel

No que diz respeito aos vãos envidraçados é necessário preencher todos os factores que estão presentes no cálculo da Área Efectiva (no RCCTE-STE 2006 o software preenchia automaticamente estes campos, dependendo da orientação do vão). Na figura seguinte está a tabela respeitante ao cálculo dos ganhos solares na estação de aquecimento.

Folha de cálculo FC IV. 1e								
Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)								
Ganhos Solares:								
Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m <sup>2</sup> )	Factor de orientação X (-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs (-)	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m <sup>2</sup> )
					Fh.Fo.Ff			
Norte	duplo	14,40	0,27	0,78	1,00	0,70	0,80	1,70
Sul	duplo	14,40	1,00	0,78	0,90	0,70	0,75	5,31
Este	duplo	13,50	0,56	0,78	0,90	0,70	0,85	3,16
Oeste	duplo	13,50	0,56	0,78	0,90	0,70	0,85	3,16

Figura 3.15 - Inserção de dados relativos aos vãos envidraçados na Folha de Cálculo do Excel

Os restantes dados que caracterizam o edifício são introduzidos de forma análoga à aqui representada. Desta forma o Excel irá calcular as Necessidades Energéticas do edifício e organizar numa tabela todos os resultados calculados.

### 3.6.2.1 Resultados obtidos com a folha de Cálculo

Tal como no software, os resultados são fornecidos ao utilizador sob a forma de tabela. Nela estão presentes os valores limite e os valores reais.

Ni (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)	50,32
Nic (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)	38,03
Nv (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)	22,00
Nvc (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)	11,17

Figura 3.16 - Output da Folha de Cálculo do Excel

No que diz respeito a resultados, a diferença entre esta ferramenta e o software é bastante pequena, como se pode verificar na tabela seguinte:

Tabela 3.7 - Comparação de Resultados obtidos através do STE 2006 e da Folha de Cálculo do Excel

	Necessidades Nominais de: [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	
	Aquecimento	Arrefecimento
Software	38,66	11,88
Folha de Cálculo Excel	38,03	11,17
Diferença (%)	1,6	5,9

Como se pode verificar as diferenças registadas não são significativas. Estas diferenças apontam para que os métodos de cálculo entre as duas ferramentas não sejam exactamente iguais, mas muito semelhantes. Outro factor que pode explicar estas diferenças está no tipo de arredondamento que cada ferramenta efectua.

### 3.6.3 RCCTE - STE 2006 (Verificação do RSECE)

Foram já referidas as condições necessárias à aplicação do RSECE a um edifício novo. Como tal, para que este regulamento possa ser aplicado ao Edifício Base é necessário impôr um valor na potência instalada que coloque o edifício em situação de obrigatoriedade de aplicação do RSECE. Isto consegue-se aumentando, no quadro referente ao sistema de climatização (figura 3.10) o valor das potências de aquecimento e arrefecimento. Este aumento será para 26 kW, valor acima dos limites impostos pelo RSECE de 25 kW.

Desta forma e uma vez que o edifício se encontra em situação regulamentar face ao RCCTE como visto anteriormente, o programa abre uma nova página, o STE. Aí o programa

entra no RSECE e todas as opções a serem tomadas nesta fase irão apenas ter implicações nos parâmetros calculados pelo RSECE. Qualquer que seja a alteração realizada nesta fase (alteração de densidades de ocupação, equipamento ou iluminação) não terá qualquer reflexo nas Necessidades Energéticas calculadas pelo RCCTE.

Nesta fase do estudo do edifício existem vários parâmetros que podem ser definidos pelo utilizador se este optar por não utilizar os valores padrão. Na figura seguinte podemos observar quais as condições que são passíveis de sofrer alterações por parte do utilizador:

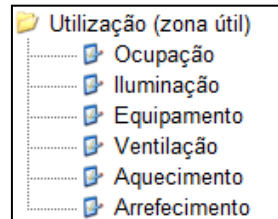


Figura 3.17 - Parâmetros Variáveis do Edifício [STE]

Com a alteração destes parâmetros poderão sofrer alterações as potências calculadas e eventualmente o IEE.

Um dos outputs do STE são as potências de aquecimento e arrefecimento. Além de verificar se o edifício se encontra ou não em situação regulamentar e de calcular o IEE, o STE fornece ao utilizador o valor das referidas potências. Posteriormente será efectuada uma aproximação a essas potências calculadas pelo STE, de maneira a tentar perceber até que ponto é ou não fiável este programa na determinação dessas mesmas potências. Na figura seguinte pode ser visto o output que o STE fornece ao utilizador:

RESULTADOS ▶ síntese do Edifício			
O edifício encontra-se regulamentar			
	Necessidades nominais de energia* [kWh/m2.ano]		Necessidades de energia máximas [kWh/m2.ano]
	TESE	80%	
Aquecimento	38,66	<	40,26
Arrefecimento	11,88	<	17,60
			22,00
	IEE [kgep/m2.ano]	valor de referência limite [kgep/m2.ano]	
tipologia TESE	21,4	35,0	
Total	21,4	35,0	
	Potência a instalar [kW]	Potência máxima a instalar [kW]	Potência nominal de simulação [kW]
		TESE	
Aquecimento	26,00	<=	35,24
Arrefecimento	26,00	<=	54,32
			25,17
			38,80

Figura 3.18 - Output do STE



Neste conjunto de tabelas estão reunidos todos os parâmetros que são calculados pelos dois regulamentos. Outra particularidade deste programa nesta fase ( STE ) é a representação gráfica das temperaturas (interior e exterior) ao longo de todo o ano. Todos os valores que permitem ao programa traçar este gráfico estão presentes numa base de dados que posteriormente será consultada para a determinação das temperaturas necessárias para a análise psicrométrica. Pode ser vista na figura seguinte a evolução das temperaturas ao longo de uma semana (a primeira semana do ano):

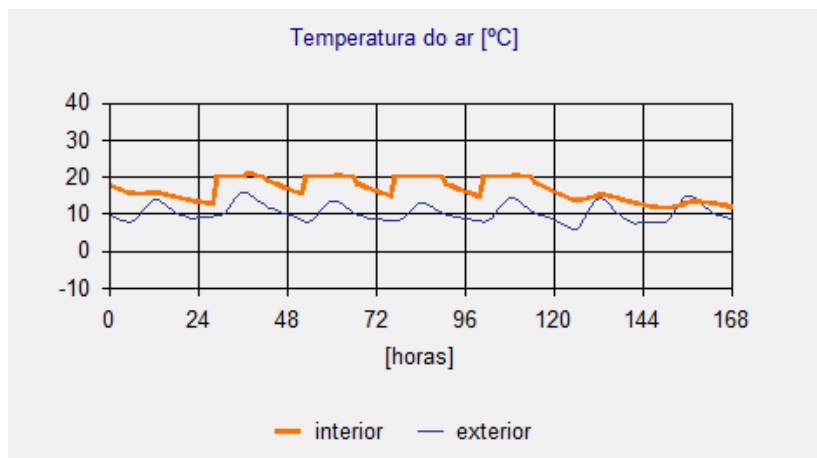


Figura 3.19 - Evolução das Temperaturas ao longo da 1ª semana do ano

Tal como efectuado no caso dos parâmetros de verificação do RCCTE, está presente no gráfico seguinte uma comparação com o valor de referência imposto pelo RSECE para o IEE, para que se possa ter uma ideia do nível de eficiência energética do Edifício Base.

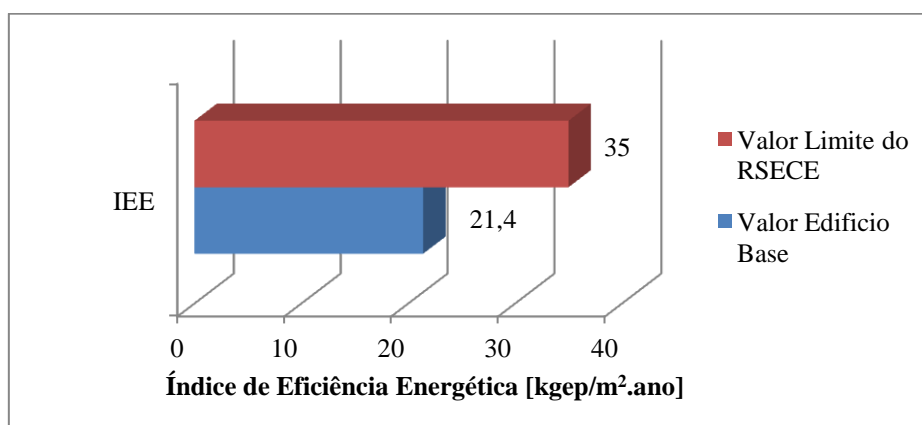


Figura 3.20 - Comparação entre valor real e valor limite de referência do IEE

No que diz respeito ao Índice de Eficiência Energética o edifício base encontra-se numa situação "confortável" não sendo o valor real muito aproximado do valor limite.



## **4 Alterações ao Caso de Estudo**

Uma vez que o edifício base está completamente caracterizado do ponto de vista energético, serão efectuadas alterações estruturais na tentativa de perceber até que ponto é importante cada parâmetro construtivo. Desta forma pretende-se indicar qual o caminho na hora de tomar de decisões ainda na fase de projecto de um qualquer edifício.

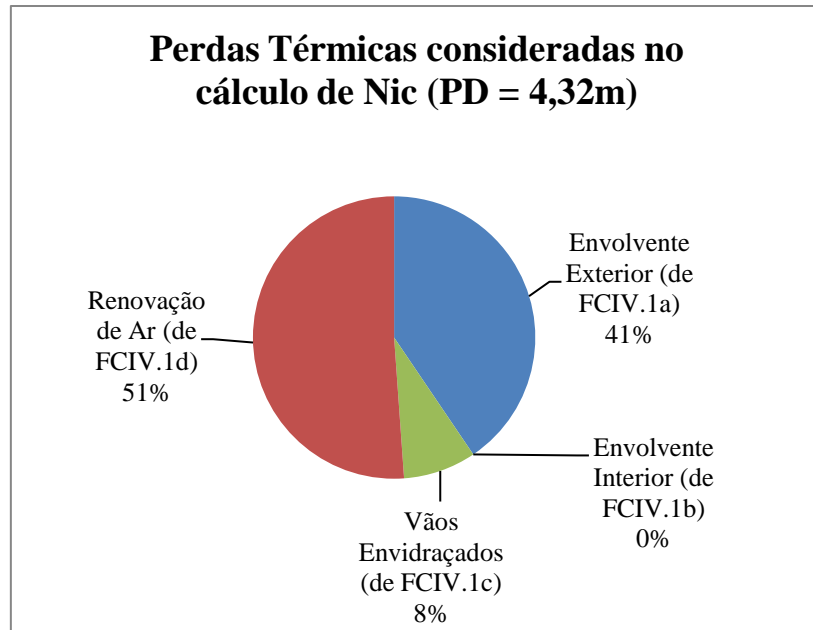
### **4.1 Alteração do Pé Direito**

Com a alteração do pé direito o edifício não irá sofrer qualquer tipo de alteração nas suas características térmicas. Para que ocorra esta alteração apenas se baixa o tecto falso, não se verificando qualquer alteração estrutural. O coeficiente  $U$  irá permanecer constante, qualquer que seja a altura do pé direito, isto porque à medida que o pé direito diminui, aumentará a altura da caixa de ar presente na cobertura. Esse aumento não terá qualquer reflexo no cálculo do  $U$  da cobertura, pois segundo o quadro 1.4 do ITE 50 [8] a resistência do ar permanece constante para as espessuras da caixa de ar em causa. No entanto, as características dimensionais sofrerão, como é óbvio, alterações. Com a diminuição do pé direito as áreas úteis das paredes (áreas onde ocorrem as trocas de calor com o exterior contabilizadas para a verificação dos regulamentos) irão diminuir. Com estas alterações, a inércia térmica do edifício não sofre qualquer variação permanecendo sempre na classe de inércia média.

#### **4.1.1 Variação das Necessidades Energéticas**

Na apresentação do edifício foi referido que este teria um pé direito elevado para que o espaço considerado não tivesse nenhum tipo de constrangimento dimensional na eventualidade de uma alteração da ocupação. Na primeira alteração a realizar ao edifício base será diminuído o valor do pé direito. Desta forma espera-se diminuir as necessidades de arrefecimento, esperando contudo uma subida das necessidades de aquecimento.

No edifício base a maior fonte de perdas térmicas quando calculadas as necessidades de aquecimento eram as perdas por renovação de ar, como se poderá verificar no gráfico da figura 4.1.



**Figura 4.1 - Perdas Térmicas no Cálculo de Nic para um Pé Direito de 4,32 metros**

Como se pode verificar, mais de metade das perdas térmicas quando se determinam as Necessidades Nominais de Aquecimento são devido à renovação de ar. A renovação de ar está directamente associada ao pé direito do espaço, segundo o RCCTE:

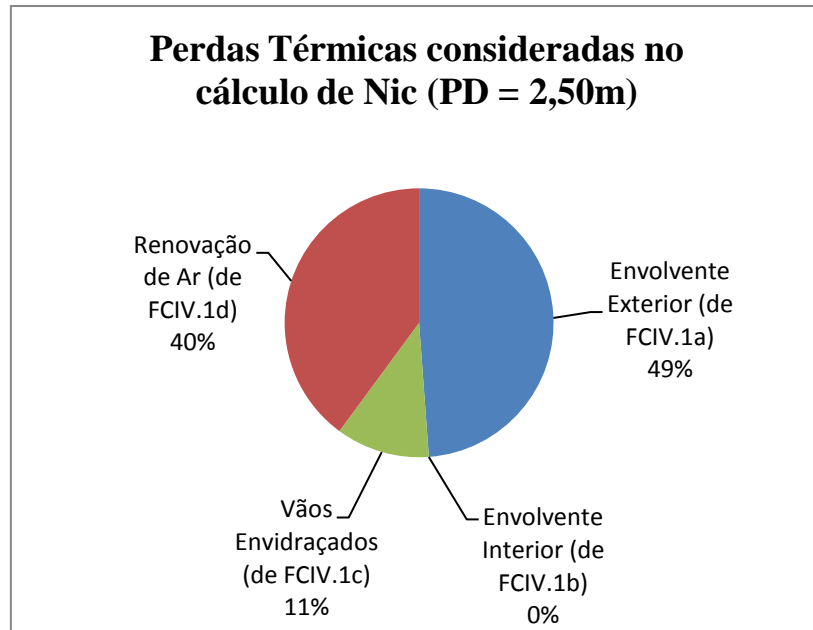
$$Perdas\ por\ Renovação\ de\ Ar = 0,34 \times Taxa\ de\ Renovação\ Nominal \times Volume \quad 9)$$

Logo e uma vez que:

$$Volume = Área\ Útil \times Pé\ Direito \quad 10)$$

é de esperar que as perdas por renovação de ar diminuam de forma linearmente directa com a diminuição do pé direito.

No entanto, não são só as perdas por renovação de ar que irão diminuir. Também as perdas pela envolvente exterior irão diminuir de forma directamente proporcional à diminuição do pé direito, uma vez que a área de paredes irá diminuir e com base na equação 8) a quantidade de calor a trocar perante as mesmas condições irá necessariamente diminuir. No gráfico seguinte podem ser vistas as contribuições de cada fonte de trocas de calor para as perdas térmicas quando o pé direito diminui para 2,50 metros:



**Figura 4.2 - Perdas Térmicas no Cálculo de Nic para um Pé Direito de 2,50 metros**

Como se pode verificar pelo gráfico as perdas por renovação de ar diminuíam passando agora a representar 40% das perdas de calor. É importante referir que apesar da envoltente exterior passar a ter a maior fatia nas perdas de calor e o seu peso relativo ter sofrido um aumento de 9%, no geral as perdas pela envoltente exterior também diminuíram uma vez que a área de parede útil também diminuiu.

No que diz respeito às Necessidades Nominais de Arrefecimento, estas irão aumentar, no entanto, esse aumento não será tão acentuando quanto a diminuição que as Necessidades Nominais de Aquecimento vão sofrer. Isto porque no cálculo destas não são contabilizadas nem as trocas de calor devido à renovação de ar nem as trocas de calor através das pontes térmicas. Por este motivo é de esperar uma subida das Nvc mas não proporcional à variação do pé direito.

No gráfico seguinte pode ser vista a evolução das Necessidades de Aquecimento (Nic) e Arrefecimento (Nvc) à medida que o pé direito do espaço é diminuído:

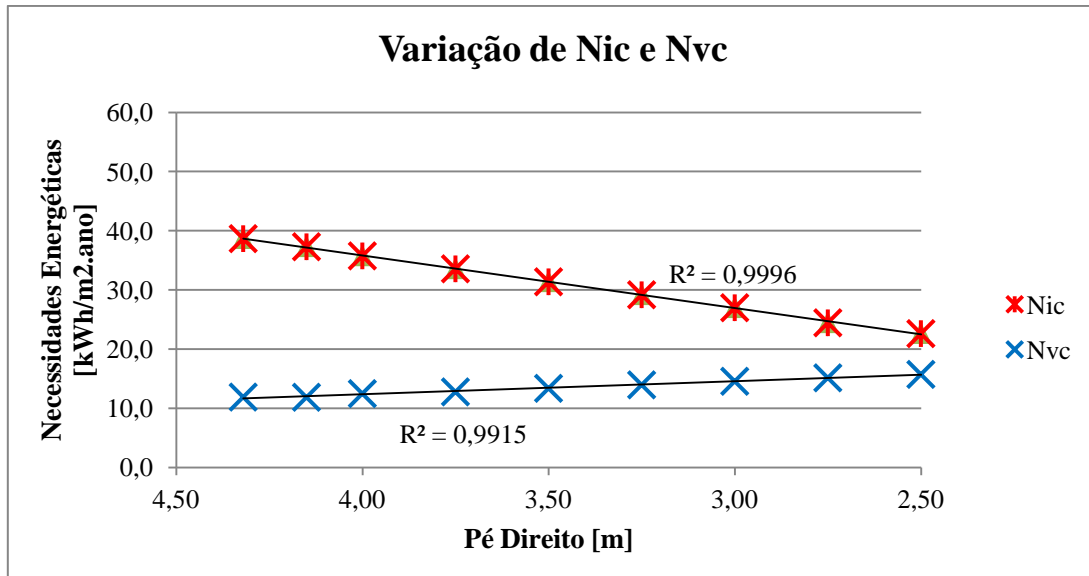
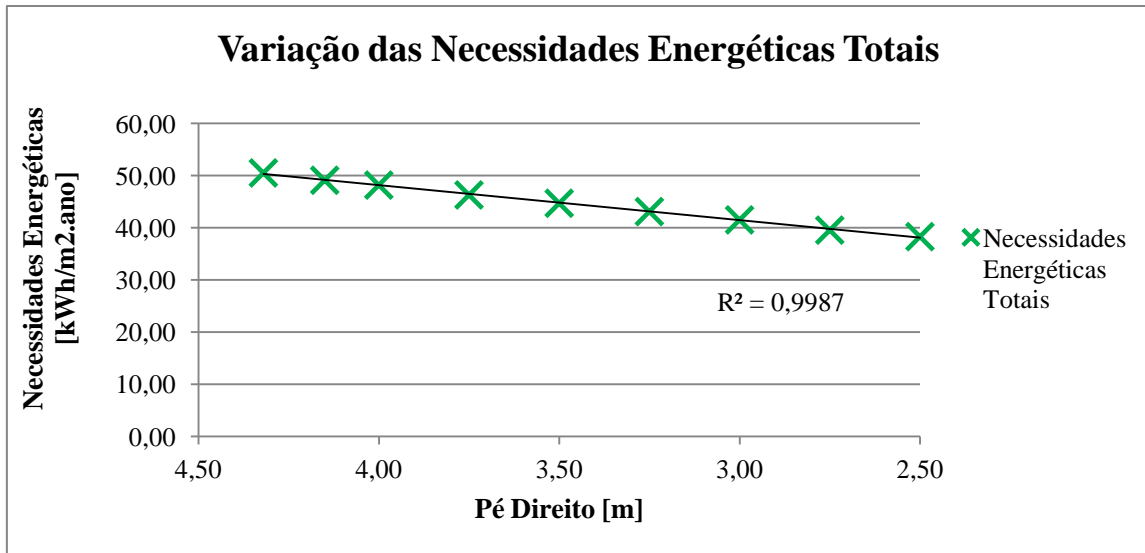


Figura 4.3 - Variações de Nic e Nvc com a diminuição do Pé Direito

Como já era esperado e se pode verificar pelo gráfico, com a diminuição do pé direito da fracção autónoma as Nic irão diminuir mais do que as Nvc irão aumentar. Em termos percentuais, as Nic irão diminuir 42 % (tanto quanto o pé direito) enquanto que as Nvc aumentam 32 %.

Analisando as variações das Necessidades Energéticas separadamente os resultados obtidos são os esperados. Como tal, quando se analisa a variação das Necessidades Energéticas Totais (Aquecimento + Arrefecimento) é esperada uma diminuição. No gráfico seguinte está presente a evolução destas necessidades:



**Figura 4.4 - Variação das Necessidades Energéticas Totais com a diminuição do Pé Direito**

Tal como esperado verifica-se a diminuição das Necessidades Energéticas Totais. Em termos percentuais, a descida é de 24 %.

Com estes resultados chega-se à conclusão de que é completamente evitável ter um pé direito bastante mais elevado do que aquele que é necessário. Todas as perdas térmicas associadas a um excesso de volume e áreas de paredes irão influenciar a factura energética que será paga no final do ano.

#### 4.1.2 Variação das Potências Térmicas

Como o software fornece ao utilizador dados sobre as potências térmicas necessárias para garantir um estado de conforto no interior do espaço será também analisada a influência que a variação do pé direito tem sobre essas mesmas potências.

No gráfico seguinte podem ser vistas as variações das Potências de Aquecimento e Arrefecimento:

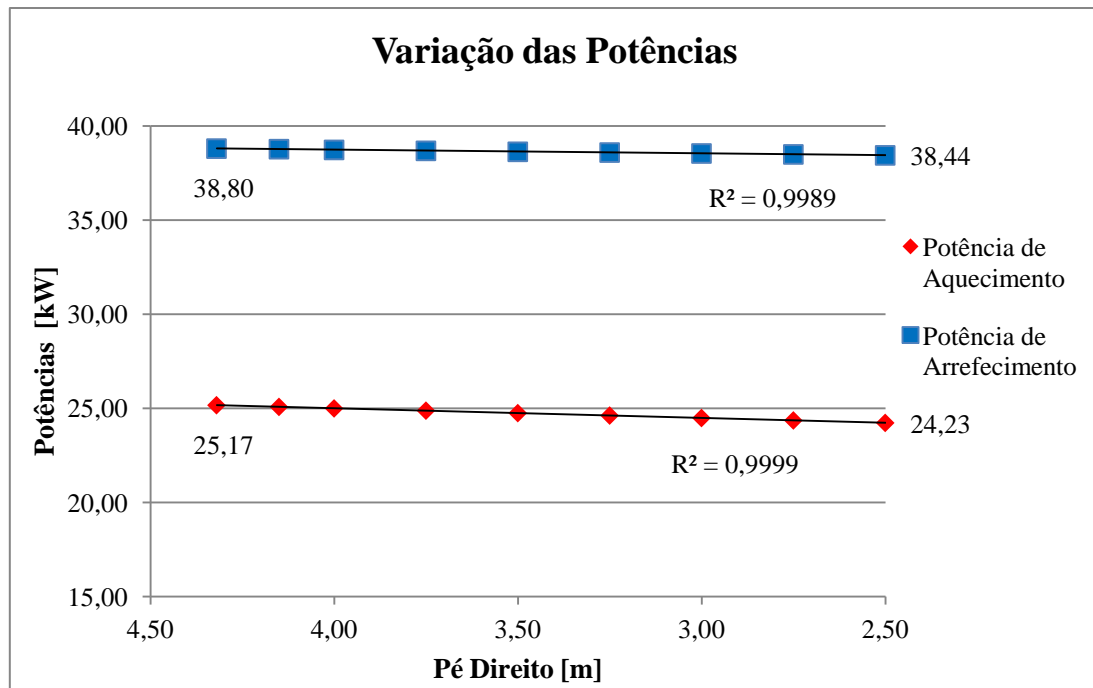


Figura 4.5 - Variação das Potências de Aquecimento e Arrefecimento com a diminuição do Pé Direito

Neste caso a variação não é clara como no caso das Necessidades Energéticas. Enquanto que na Potência de Aquecimento é claro que se regista uma diminuição, no caso da Potência de Arrefecimento e tendo como base a observação do gráfico a evolução não é clara. Recorrendo aos valores presentes no gráfico e uma vez que a evolução é linear, pode-se confirmar que ocorre uma diminuição da potência de arrefecimento.

Ao contrário do que acontece com as Necessidades Energéticas, as duas Potências determinadas sofrem um descida. Esta descida prende-se com o facto de ser necessário um caudal de ar insuflado inferior quando o pé direito do espaço é reduzido. A determinação das potências será estudada no capítulo 5 e aí será realizado um estudo mais aproximado onde se tornará mais fácil perceber o porquê da diminuição de ambas as potências.



## **4.2 Alteração de Vãos Envidraçados**

Em qualquer construção a existência de vãos envidraçados é importante e com todas as preocupações ambientais que hoje em dia estão presentes é importante aproveitar e utilizar todas as potencialidades que a iluminação natural permite, assim como os ganhos solares. Como tal, a presença de áreas envidraçadas nos edifícios é cada vez mais frequente. Mas é importante perceber se compensará essa colocação de vidro com o intuito de reduzir os custos associados à iluminação se os custos inerentes à correcta climatização do espaço irão suplantar essa poupança. Em Portugal a incidência de radiação solar é das mais fortes da União Europeia e como tal é de esperar que na estação de arrefecimento os ganhos solares através dos envidraçados aumentem consideravelmente as Necessidades Energéticas. Neste subcapítulo serão estudados os vãos envidraçados e até que ponto é positivo o aumento de área de envidraçados num edifício.

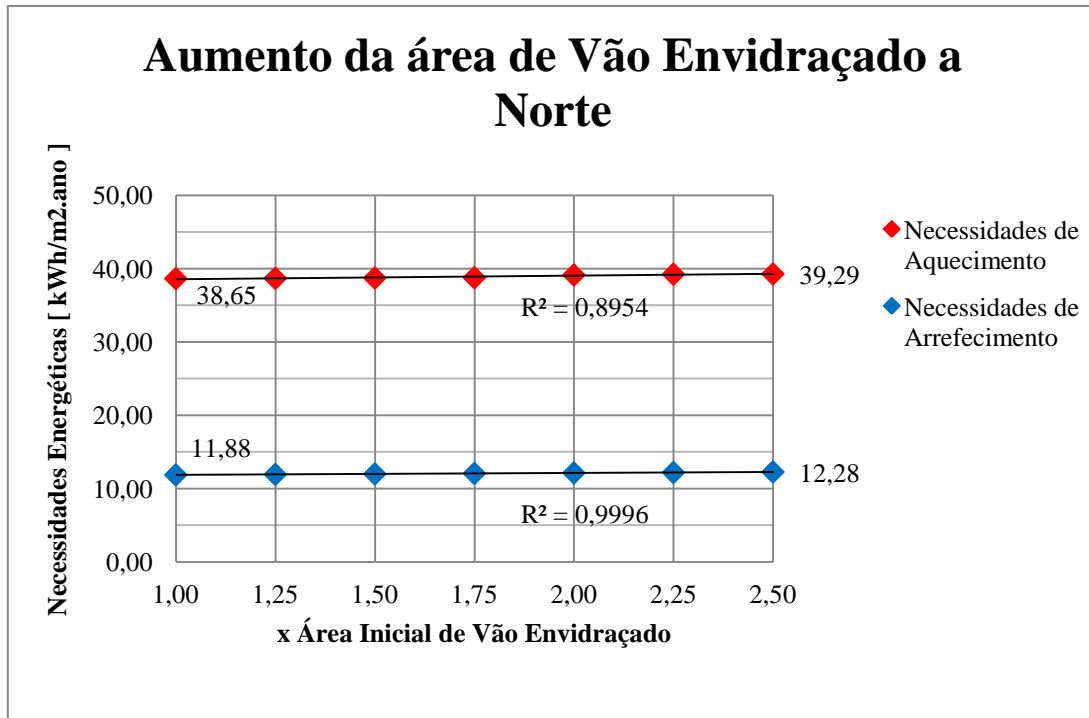
### **4.2.1 Aumento de Área de Envidraçados**

A disposição dos vãos envidraçados num edifício é um pormenor que tem uma importância de algum relevo quando se pretende obter um bom desempenho energético num edifício. Nesta fase do estudo proceder-se-á ao aumento gradual da área de envidraçados segundo cada orientação e desta forma perceber-se-á qual a influência dos ganhos solares e das próprias orientações.

O aumento será efectuado multiplicando as áreas de envidraçados até 2,5 vezes a área original com intervalo de 0,5 vezes. Serão os factores de multiplicação que constarão no eixo horizontal dos gráficos que ilustram as evoluções. Nos anexos poderão ser consultadas as tabelas com os dados obtidos neste estudo.

#### **4.2.1.1 Aumento da Área de Envidraçado a Norte**

A primeira alteração ocorre nos envidraçados situados na parede voltada a Norte. Os parâmetros estudados são apenas as Necessidades Energéticas (Aquecimento e Arrefecimento), uma vez que a evolução das Potências Térmicas acompanha a evolução das Necessidades referidas. No gráfico da figura 4.6 pode ser observada a evolução das Necessidades Energéticas.



**Figura 4.6 - Evolução de Nic e Nvc com o aumento da Área de Vão Envidraçado voltada a Norte**

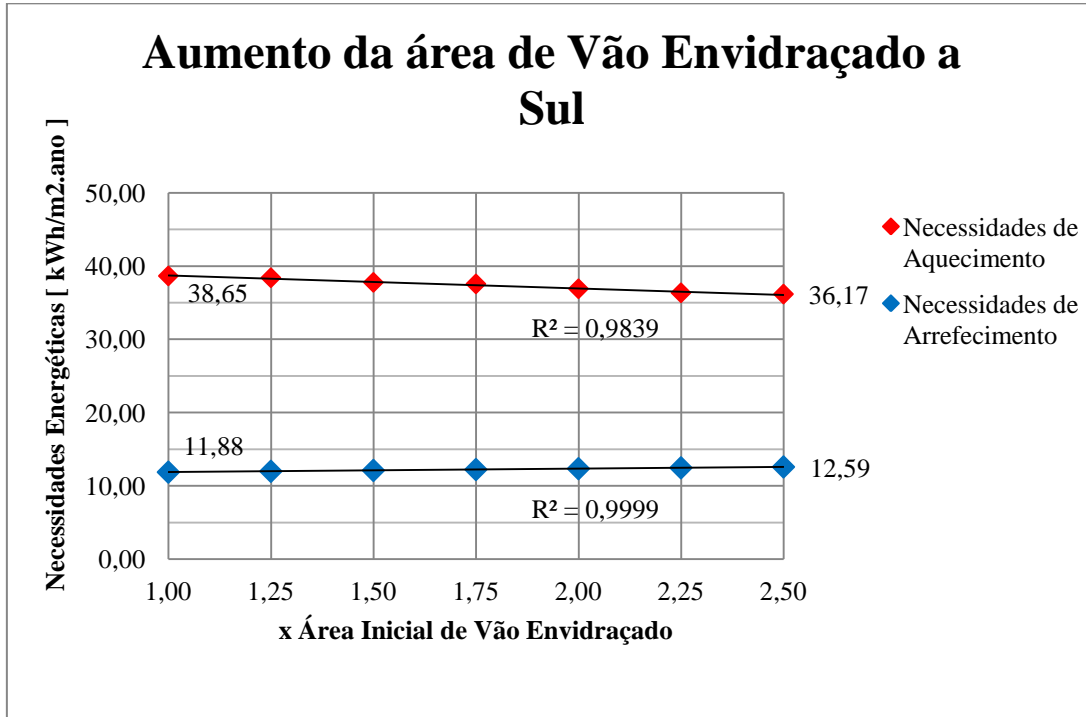
Como se pode verificar no gráfico regista-se um aumento quer das Necessidades de Aquecimento quer das Necessidades de Arrefecimento. Aqui se pode comprovar que a inclusão de vãos envidraçados segundo a orientação Norte em qualquer edifício está longe de trazer qualquer tipo de benefícios do ponto de vista energético.

Este aumento de área de envidraçado irá aumentar a quantidade de trocas de calor por condução para o exterior uma vez que o coeficiente U do vidro é bastante superior ao da parede. Como tal, uma vez que a área do elemento com o maior coeficiente aumenta, as trocas de calor irão consequentemente aumentar. Dado que os valores de radiação solar para esta orientação são bastante inferiores aos das restantes não é difícil perceber que a radiação solar não irá compensar, no caso da estação de aquecimento, todas as perdas de calor que ocorrem pela área de envidraçado.

Não é então de estranhar que o aumento de área de envidraçado segundo a orientação Norte num qualquer edifício seja extremamente desaconselhável quando se pretende obter um espaço com alguma eficiência energética. As necessidades Energéticas Totais aumentam, resultando consequentemente no aumento da factura a pagar, dado que em qualquer das estações se verifica um acréscimo nas Necessidades Energéticas.

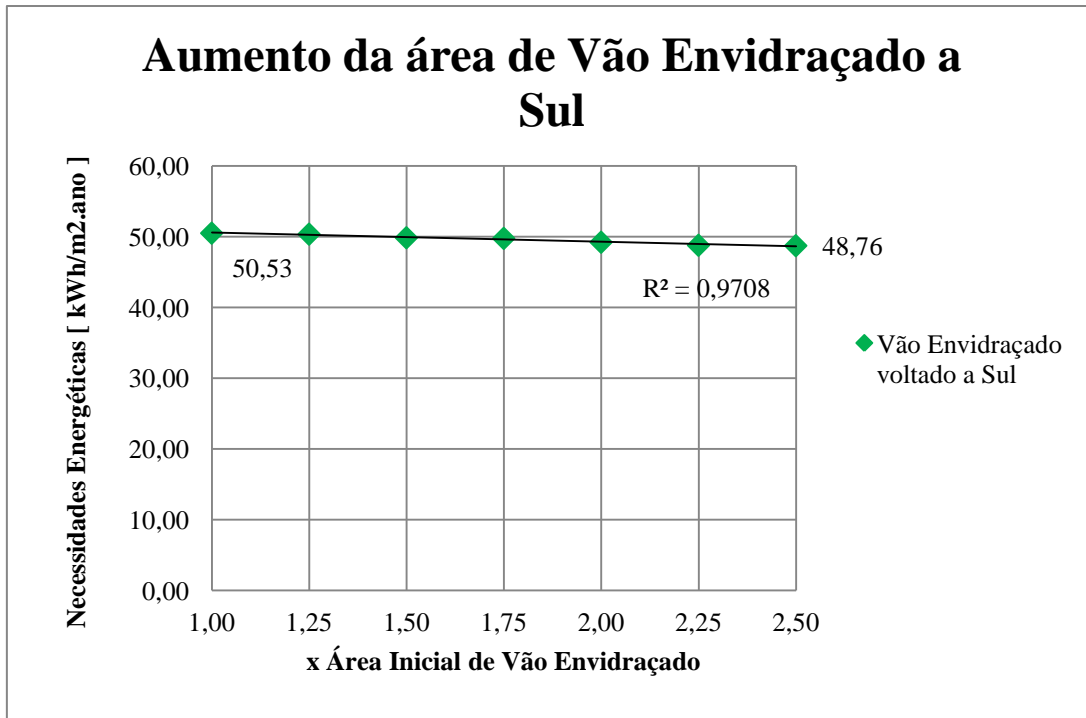
#### 4.2.1.2 Aumento da Área de Envidraçado a Sul

Enquanto que a Norte é completamente desaconselhável a colocação de vãos envidraçados, uma vez que se registou um aumento nas duas estações de referência, o aumento segundo a orientação Sul irá resultar na obtenção de resultados diferentes para as duas estações:



**Figura 4.7 - Evolução de Nic e Nvc com a alteração da Área de Vão Envidraçado voltada a Sul**

Quando o aumento de área ocorre na parede voltada a Sul a evolução das Necessidades de Aquecimento e de Arrefecimento não ocorre de forma igual. Enquanto que as Necessidades de Aquecimento diminuem as Necessidades de Arrefecimento aumentam. Estas conclusões não são de estranhar, pois a radiação solar que incide numa parede orientada a Sul é bastante forte quando comparada com uma parede voltada a Norte. Se no Inverno os ganhos solares acrescidos são úteis para a diminuição da necessidade de aquecer o espaço, já no Verão esses mesmos ganhos solares irão acrescer as necessidades de arrefecer o interior do edifício. Resta analisar então a diminuição das necessidades Energéticas Totais irá ou não decrescer, diminuindo assim a factura energética e tornando o edifício mais eficiente. No gráfico seguinte está então presente a evolução das Necessidades Energéticas Totais:



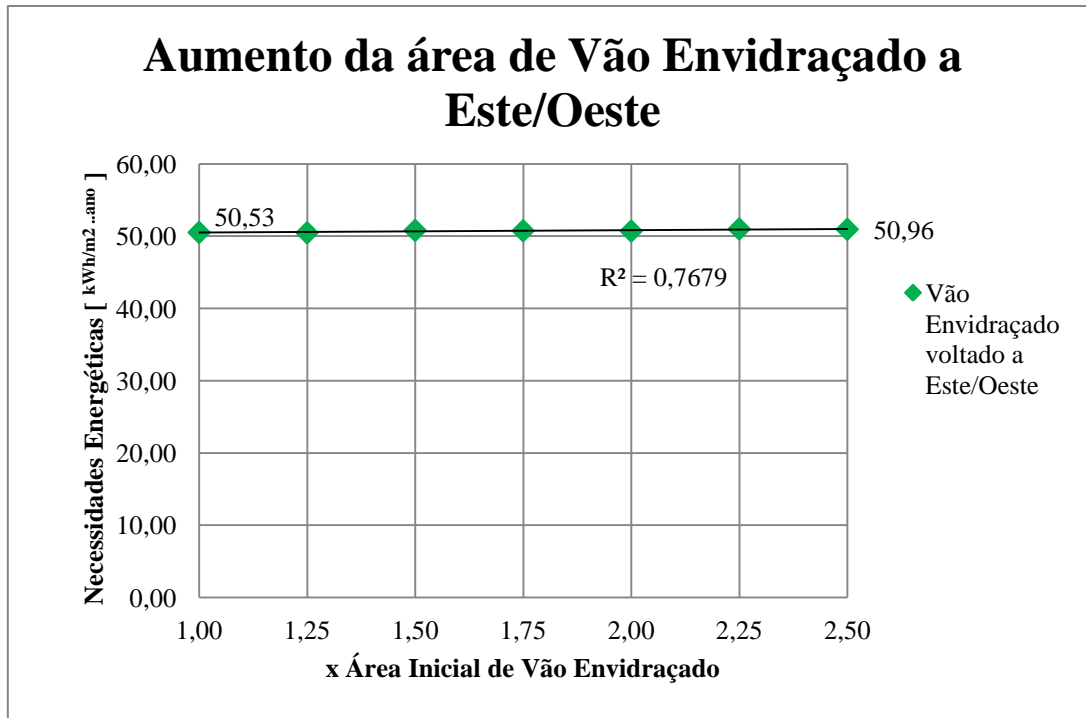
**Figura 4.8 - Evolução das Necessidades Energéticas Totais com o aumento da Área de Envidraçado a Sul**

Como se pode verificar pelo gráfico, verifica-se uma diminuição das Necessidades Energéticas Totais quando se aumenta a área de Envidraçado voltada a Sul. Significa isto que o aumento das trocas de calor que ocorrem no Verão e que levam a um aumento das Nvc é suplantado pela diminuição das Nic graças aos ganhos solares obtidos com o aumento da área de vidro. Em termos percentuais, verifica-se uma diminuição na ordem dos 3,6 % quando se efectua um aumento de 150 % na área de envidraçado.

Com estes resultados é então óbvio afirmar que a disposição dos vãos envidraçados num edifício é algo que requer um estudo prévio para que todos os benefícios provenientes do Sol sejam utilizados ao máximo, não só em termos de ganhos solares térmicos mas também para que a iluminação natural permita uma redução dos custos associados à iluminação do espaço.

#### **4.2.1.3 Aumento da Área de Envidraçados a Este/Oeste**

Após o estudo de como seria a evolução das Necessidades Energéticas à medida que a área de envidraçado nas paredes orientadas a Norte e Sul era aumentada, realizou-se o mesmo estudo segundo as orientações Este/Oeste. Neste caso, as evoluções independentes das Nic e Nvc ao longo do estudo foram lineares e de acordo com o esperado. Na estação de aquecimento as Nic diminuía enquanto que na estação de arrefecimento as Nvc aumentaram. Mas enquanto que a evolução destas Necessidades foi linear, a evolução da soma destas não segue esta tendência, como pode ser visto no gráfico seguinte:



**Figura 4.9 - Evolução das Necessidades Energéticas Totais com o aumento da Área de Vão Envidraçado voltada a Este/Oeste**

Da análise gráfica conclui-se que se verifica um ligeiro aumento das Necessidades Energéticas Totais. Esse aumento é mínimo, na ordem dos 0,9 %. O que se pode verificar também, não através da linha de tendência mas sim através do  $R^2$  é que a sua evolução não é completamente linear. Enquanto que em todas as evoluções até agora registadas este parâmetro não era inferior a 0,96 neste caso regista-se um  $R^2=0,7679$ , significando isto que a evolução não é completamente linear.

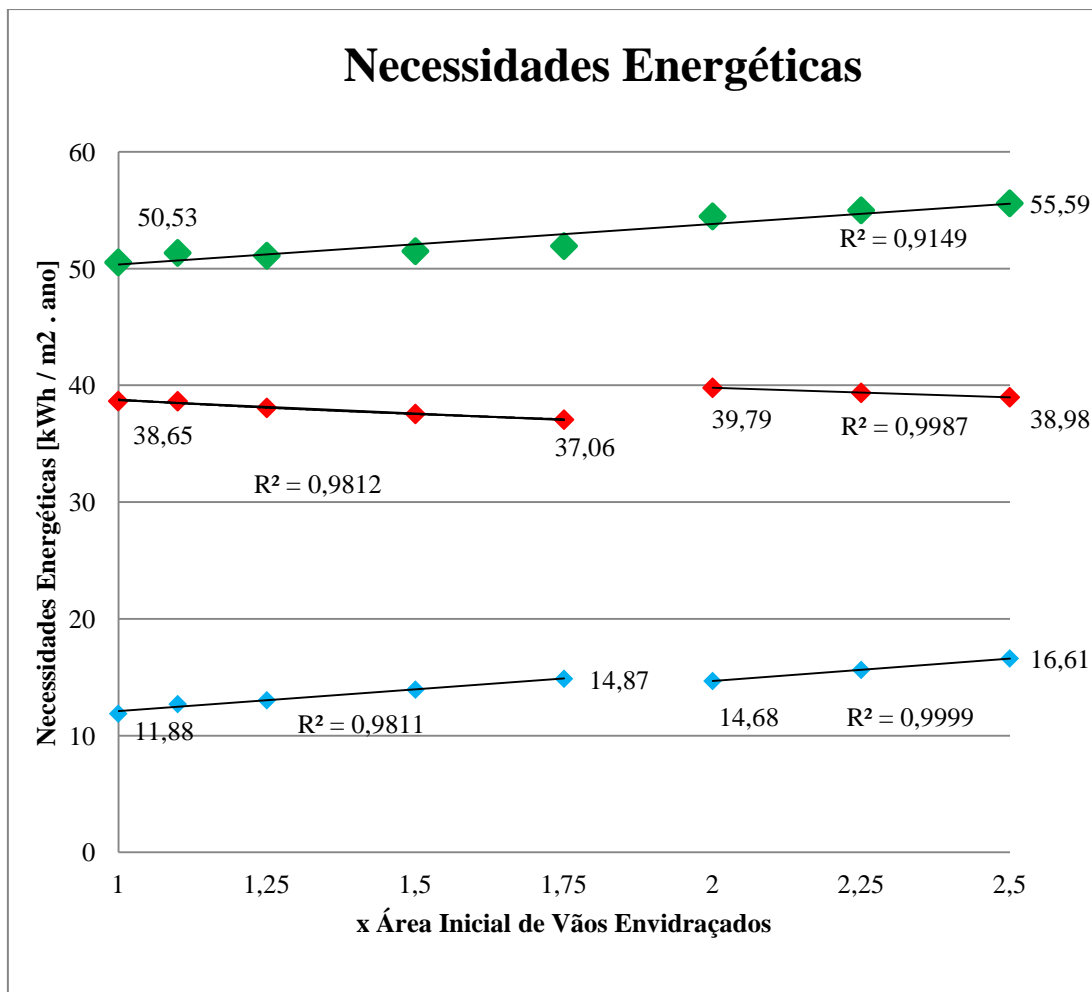
Do aumento das áreas de envidraçado segundo as orientações Este ou Oeste conclui-se que em termos energéticos não se obtêm grandes diferenças, isto é, o ligeiro aumento que se registou não é minimamente significativo. No entanto, o facto de existirem maiores áreas por onde possa entrar a iluminação natural poderá resultar numa diminuição da factura da electricidade.

É importante referir que para todas as alterações efectuadas o Índice de Eficiência Energética manteve-se constante, tomando o valor 21,4 kgep/m².ano tal como no caso do Edifício Base.

## 4.2.2 Aumento de Área em todos os Vãos Envidraçados

Até aqui apenas foi aumentada a área dos vãos envidraçados segundo cada direcção. Na alteração seguinte todos os vãos envidraçados irão sofrer um aumento da área. Com este aumento sabe-se à partida que os ganhos solares irão aumentar consideravelmente mas também as perdas térmicas por condução irão ocorrer de forma mais intensa.

O aumento de área ocorrerá de forma gradual como até aqui se tem verificado para cada vão, tendo esse aumento intervalos de 25%. No gráfico seguinte está presente a evolução das Necessidades Totais assim como das Nic e Nvc.



Legenda:

- ◆ Nvc taxa Renov - 0.9
- Nic taxa Renov - 0.9
- Nic taxa Renov - 1
- ◆ Nvc taxa Renov - 1
- ✕ Necessidades Energéticas Totais

Figura 4.10 - Evolução das Necessidades Energéticas com o aumento gradual de todos os Vãos Envidraçados

Este gráfico, como se pode verificar, é diferente de todos aqueles que foram obtidos até esta fase. Esta diferença deve-se à alteração das taxas de renovação nominal do ar para o interior do espaço. Como se pode verificar pela legenda, até uma certa área de envidraçados a taxa de renovação nominal é de 0,9 passando depois a 1. Esta alteração ocorre porque o RCCTE impõe que quando se verifica uma área de envidraçado superior a 15% da área útil de pavimento, então os valores de  $R_{ph}$  obtidos no quadro IV.1 de [1] devem sofrer um agravamento de 0,10. Esse agravamento ocorre quando a área de envidraçado é o dobro da área original:

$$A_{Envidraçados\ total\ Base} = (14,4 \times 2) + (13,5 \times 2)$$

$$A_{Envidraçados\ total\ Base} = 55,8\ m^2$$

$$2 \times A_{Envidraçados\ total\ Base} = 111,6\ m^2$$

$$15\% A_{\acute{u}til\ pav.} = 697,909 \times 0,15 = 104,69\ m^2$$

$$111,6\ m^2 > 104,69\ m^2$$

Como tal, a nova taxa de renovação horário irá provocar um corte na linha de tendência da evolução das  $N_{ic}$  e das  $N_{vc}$ , uma vez que as trocas de calor por renovação de ar irão aumentar. Por este motivo e analisando as Necessidades Energéticas Totais percebe-se que não é vantajoso este aumento de área de envidraçado pois irá aumentar a factura energética uma vez que as necessidades crescem praticamente de forma linear com aumento de área de vãos envidraçados.

Nos casos das alterações anteriores não se registava qualquer variação no IEE. Neste caso, este índice varia de acordo com a tabela seguinte:

**Tabela 4.1 - Variação do IEE com o aumento da Área de Vãos Envidraçados**

x Área Inicial de Envidraçado	1	1,1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5
IEE (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	21,4	21,4	21,4	21,5	21,6	21,6	21,7	21,7

### 4.2.3 Colocação de Clarabóia

Na arquitectura adoptada hoje em dia, é cada vez mais frequente a utilização de clarabóias. Seja em edifícios de serviços ou residenciais, garantir a entrada de luz natural para o

interior do espaço é cada vez mais uma preocupação. Melhor do que qualquer janela, uma clarabóia é um elemento que garante essa iluminação natural. No entanto e tal como no caso de janelas, a entrada de luz natural no espaço é também sinónimo de maiores trocas de calor com o exterior. Nesta alteração ao edifício Base será estudada a colocação de uma clarabóia e estudar a evolução das necessidades energéticas à medida que se aumenta a área de clarabóia. Esta área não é somente de uma clarabóia mas sim o somatório de várias que estariam distribuídas por toda a cobertura.

O material considerado para a clarabóia é vidro reflectante incolor, material vulgarmente utilizado para este efeito.

No gráfico seguinte está então representada a evolução das Necessidades de Aquecimento e de Arrefecimento:

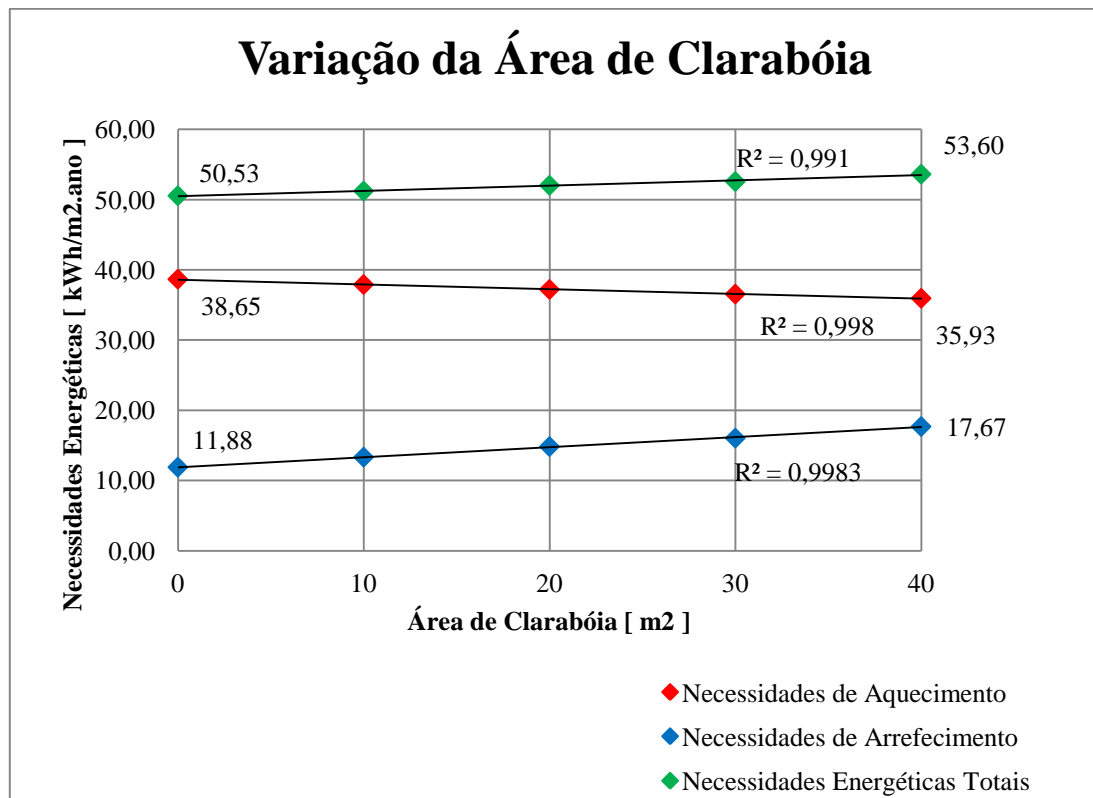


Figura 4.11 - Evolução de Nic e Nvc com a colocação e aumento da Área de Clarabóia

Como se pode ver no gráfico a colocação da clarabóia irá aumentar consideravelmente as Necessidades de Aquecimento e diminuir as Necessidades de Arrefecimento, embora esta diminuição seja de forma menos acentuada. Analisando estas variações de forma percentual, a introdução de clarabóia e respectivo aumento de área reflecte-se num aumento das Nvc na



ordem dos 49% enquanto que a descida das Nic fica-se pelos 7%. Como é óbvio as Necessidades Energéticas Totais aumentam também, sendo esse aumento na ordem dos 6%.

É ainda importante referir que para uma área de clarabóia de 40 m<sup>2</sup> o edifício passaria a estar em situação não regulamentar, uma vez que as Nvc ultrapassariam o valor limite do RCCTE ( 17,60 kWh/m<sup>2</sup>.ano).

Assim como na alteração anterior (5.2.2) também a colocação da clarabóia irá conduzir à variação do IEE.

**Tabela 4.2 - Variação do IEE com a variação da Área de Clarabóia**

Área de Clarabóia (m <sup>2</sup> )	0	10	20	30	40
IEE (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	21,4	21,6	21,6	21,6	21,7

Desta forma, conclui-se que do ponto de vista energético não é, de modo algum, vantajosa a colocação de uma clarabóia num edifício. Todas as contrapartidas obtidas com a diminuição dos gastos na estação de aquecimento não compensam visto que as necessidades de arrefecimento serão sempre superiores.

### 4.3 Alteração da Ocupação/Densidade

A concepção do Edifício Base foi pensada de modo a permitir a alteração da sua ocupação. Desta forma e segundo o RCCTE os ganhos internos médios serão diferentes para cada ocupação. No entanto, não são apenas os ganhos internos médios que variam com a ocupação. Também a densidade de ocupação é um parâmetro que irá ser alterado, pois como é fácil perceber, a densidade não será a mesma sendo o espaço um restaurante ou uma galeria de arte. Esta fase do estudo destina-se a demonstrar que é vantajoso saber de antemão qual o tipo de ocupação que um edifício irá ter, pois desta forma será concebido de maneira a melhor responder aos requisitos térmicos e energéticos que posteriormente existirão.

#### 4.3.1 Alteração do Tipo de Ocupação (Ganhos Internos Médios)

No quadro IV.3 do RCCTE [1] estão presentes os diferentes ganhos internos médios que para cada ocupação são considerados. No caso do edifício base a ocupação inicial foi definida como um espaço de escritórios. Neste quadro tira-se que:

$$q_i = 7 \text{ W/m}^2$$

Desse mesmo quadro tira-se que se a ocupação do espaço for um hotel , então este valor é de  $4 \text{ W/m}^2$  enquanto que se for algum museu ou qualquer outro edifício com pequena carga térmica, então os ganhos internos médios passam a assumir o valor de  $2 \text{ W/m}^2$ .

Neste estudo não serão contemplados apenas estes 3 valores mas sim uma variação unitária desde o valor mínimo e o valor máximo que constam no RCCTE (  $2$  e  $7 \text{ W/m}^2$  respectivamente). Os reflexos desta variação nas Necessidades Energéticas (Nic e Nvc) estão presentes no gráfico seguinte:

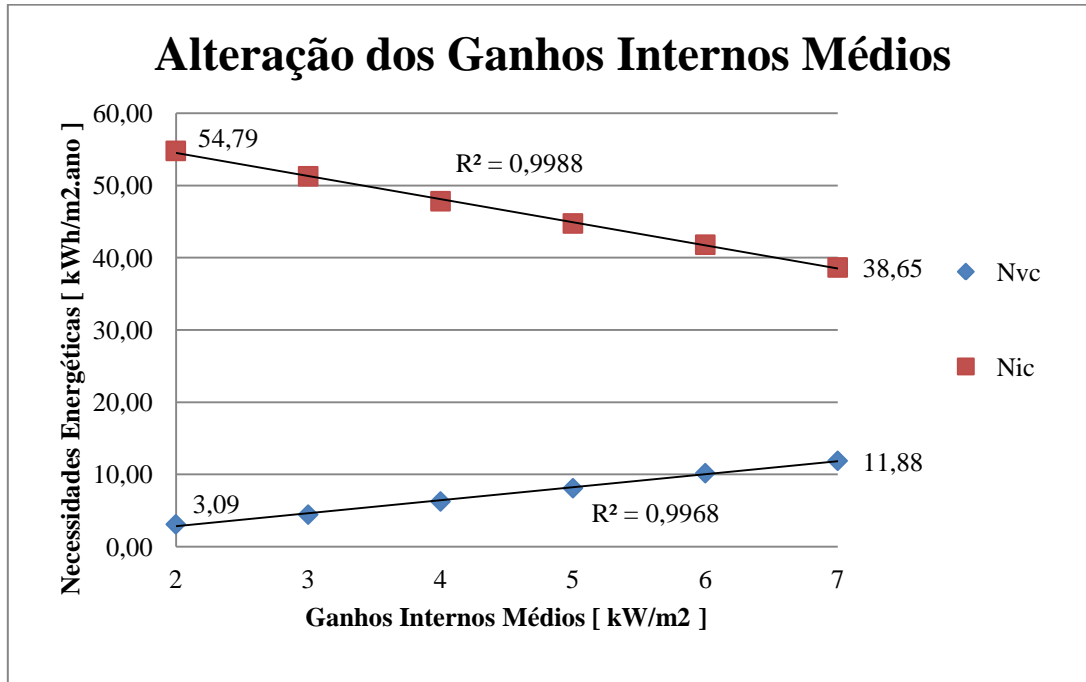


Figura 4.12 - Variação das Nic e Nvc com a alteração dos ganhos internos intermédios

Como é de esperar o aumento dos ganhos internos médios traduz-se numa diminuição das Necessidades de Aquecimento e no aumento das Necessidades de Arrefecimento. No entanto é necessário analisar com atenção os valores obtidos para os ganhos internos médios considerados pelo RCCTE:

Tabela 4.3 - Variação das Nic e Nvc com a alteração dos ganhos internos médios

Qi kW/m <sup>2</sup>	Nic kWh/m <sup>2</sup> .ano	Ni kWh/m <sup>2</sup> .ano	Nvc kWh/m <sup>2</sup> .ano	Nv kWh/m <sup>2</sup> .ano
2	54,79	40,26	3,09	17,60
4	47,82		6,25	
7	38,65		11,88	

Conclui-se portanto que no edifício Base apenas poderão funcionar serviços cujos ganhos internos médios sejam de  $7 \text{ kW/m}^2$ , tendo em conta os valores definidos pelo RCCTE. Tal como já referido, as Necessidades de Aquecimento são elevadas no Edifício Base e como tal uma diminuição dos ganhos internos médios irá agravar o valor das Nic. Esse agravamento tornaria o edifício não regulamentar dado que, como consta na tabela, o valor limite de referência seria ultrapassado.

Com este estudo pretende-se reforçar a ideia de que todos os pormenores relacionados com o edifício e a sua utilização futura são importantes logo na fase de projecto, permitindo nessa fase efectuar todos o tipo de melhoramentos necessários para que a utilização do espaço seja realizada com o melhor nível de conforto e bem estar que se consiga.

### **4.3.2 Alteração da Densidade de Ocupação**

No subcapítulo anterior a alteração que se realizou apenas tinha efeito nas Necessidades Energéticas do espaço, uma vez que o parâmetro alterado era um parâmetro que é contabilizado nos cálculos do RCCTE. Com a utilização do software STE-2006 outros parâmetros são alteráveis, permitindo desta forma um estudo das repercussões destas alterações. Um destes parâmetros que é possível alterar com o software é o da densidade de ocupação do espaço. Neste caso, os ganhos internos médios permanecem inalteráveis ( $7 \text{ kW/m}^2$ ), isto é, o tipo de ocupação não é modificado. Continua a assumir-se que no interior do espaço funcionam escritórios, alterando-se sim a quantidade de pessoas que estão no interior do espaço.

Dado que a densidade de ocupação não é um parâmetro considerado no RCCTE, não terá qualquer influência nas Necessidades Energéticas do Edifício, permanecendo constantes durante esta fase do estudo. Serão portanto as potências térmicas o alvo de atenção quando a variação efectuada é da densidade de ocupação. O parâmetro que irá influenciar a variação das potências será ,portanto, a quantidade de ar novo que será necessário insuflar para o interior do espaço, pois existem valores mínimos impostos pelo RCCTE que têm obrigatoriamente de ser cumpridos.

No gráfico seguinte está presente a evolução das Potências de Aquecimento e de Arrefecimento quando a densidade varia de 4 a  $20 \text{ m}^2/\text{ocupante}$ . Esta variação tem como extremos valores muito pouco prováveis de se verificar numa situação real, dado que na situação de 4 metros quadrados por ocupante se verificaria um espaço sobrelotado (visto tratar-se de um espaço para escritórios) e na situação de 20 metros quadrados para cada ocupante o espaço estaria demasiadamente "vazio".

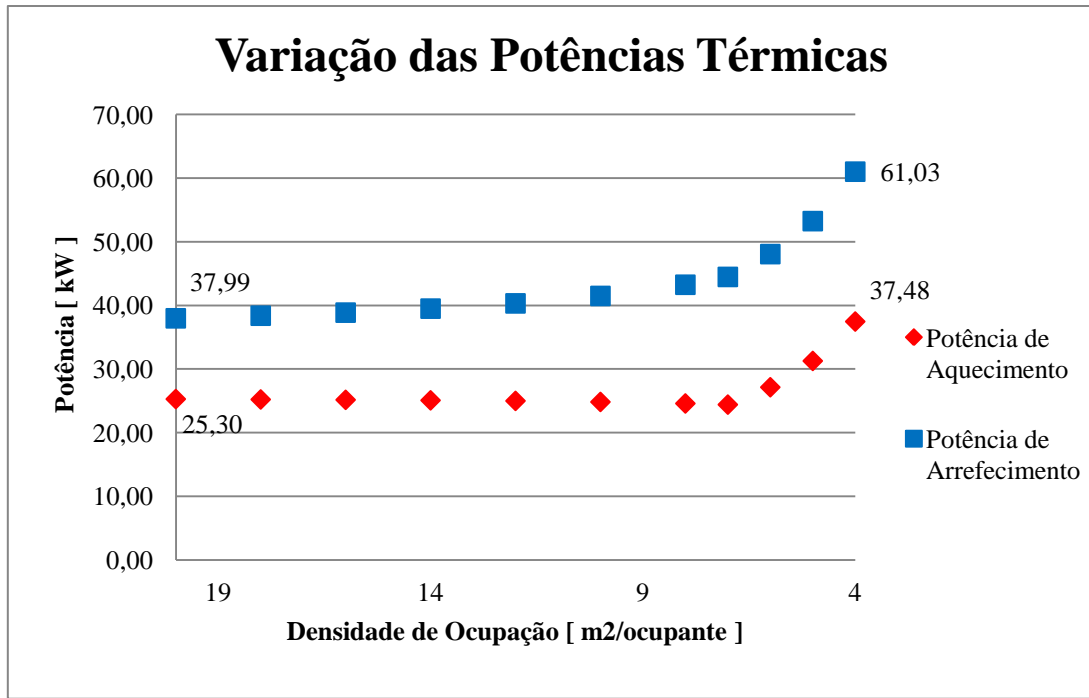


Figura 4.13 - Evolução das Potências de Aquecimento e e Arrefecimento com a variação da densidade de ocupação

Enquanto que em todos os outros gráficos de evoluções de Potências e Necessidades Energéticas se verificaram variações lineares, neste caso a evolução não ocorre dessa forma. Tal como referido na página anterior, esta evolução encontra-se dependente da quantidade de ar novo que é necessário insuflar. No anexo VI do RSECE [2] está presente o quadro onde os caudais mínimos de ar novo estão impostos. Enquanto o caudal de ar mínimo imposto devido à área é superior aquele que é imposto devido à ocupação, é o primeiro aquele que se tem que garantir. Do anexo VI do RSECE retira-se que para um espaço de escritórios os caudais mínimos a garantir são (nesse anexo consideram-se os valores estabelecidos para "Tipo de actividade - Serviços - Gabinetes"):

Tabela 4.4 - Caudais mínimos de ar novo

Tipo de Actividade	Caudal mínimo devido à área [m³/h.m²]	Caudal mínimo devido à ocupação [m³/h.ocupante]
Escritórios	5	30

Então, o caudal mínimo devido à área calcula-se da seguinte forma :

$$Q_{\text{área}} = Q_{\text{mínimo devido à área}} \times \text{Área} \quad 11)$$

enquanto que o caudal mínimo devido à ocupação se obtêm de forma análoga:

$$Q_{\text{ocupação}} = Q_{\text{mínimo devido à ocupação}} \times n^{\circ} \text{ de ocupantes} \quad 12)$$

Desta forma, enquanto a densidade de ocupação for superior a 6 m<sup>2</sup>/ocupante, o caudal considerado será aquele que é imposto pela área do espaço. O facto do caudal mínimo de ar novo aumentar consideravelmente com o aumento do número de ocupantes leva ao aumento, também ele considerável, das potências necessárias para a correcta climatização do espaço (segundo o software STE 2006).

Esta fase do estudo não tem como principal objectivo perceber qual a resposta do edifício, uma vez que em situação real o aumento do número de ocupantes irá resultar no aumento das cargas internas e consequentemente esse aumento resultaria em alterações nas Necessidades Energéticas. No entanto, tal não se verifica. O objectivo prende-se sim com a tentativa de perceber o método de funcionamento do software em utilização e qual o nível de fiabilidade que este tem.

## **4.4 Alteração da Classe de Inércia Térmica**

Se até esta fase todas as alterações que se efectuaram eram do tipo físico (alteração de dimensões, alterações de elementos construtivos e alterações do número de ocupantes) a alteração que será agora efectuada no edifício não contempla nenhum parâmetro palpável. Será então importante perceber o que é a inércia térmica de um edifício.

Todos os corpos dotados de massa possuem esta característica, que se pode resumir como sendo a oposição que cada corpo realiza à alteração do seu estado. Desta forma e aplicando esta definição à inércia térmica é seguro afirmar que a inércia térmica de qualquer corpo é a resistência que este possui em manter a temperatura a que se encontra, atrasando os efeitos das variações de temperatura que ocorrem no meio em que está inserido. Este atraso/resistência não ocorre de forma igual em todos os corpos, sendo a massa de cada corpo que influencia o nível de oposição que será efectuada.

No caso particular dos edifícios existem três classes de inércia: fraca, média ou forte. Tal como referido é a massa que irá determinar qual a classe em que cada edifício se insere, massa essa que se denomina por massa superficial útil por unidade de área útil de pavimento,  $I_s$ .

A massa superficial útil por unidade de área útil do pavimento calcula-se segundo a seguinte expressão:

$$I_i = \frac{\sum M_{si} S_i}{A_p} \quad \left[ \frac{kg}{m^2} \right] \quad 13)$$

em que:

- $M_{si}$  - é a massa superficial e depende de todos os elementos construtivos do elemento  $i$ ,  $[kg/m^2]$ ;
- $S_i$  - é a área da superfície interna do elemento  $i$ ,  $[m^2]$ ;
- $A_p$  - é a área útil de pavimento,  $[m^2]$ ;

Para o edifício base o cálculo das massas superficiais dos elementos construtivos poderá ser consultado nos anexos, sendo que com base nos valores obtidos obtém-se:

$$I_t = 295,32 \text{ kg/m}^2$$

Segundo a tabela seguinte [1] retirada do RCCTE retira-se que o edifício base está inserido na classe de inércia térmica média.

**Tabela 4.5 - Classes de Inércia Térmica segundo o RCCTE**

Classe de Inércia	Massa superficial útil do edifício por unidade de área útil do pavimento, $I_t$ [kg/m <sup>2</sup> ]
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 < I_t < 400$
Forte	$I_t > 400$

Uma vez que a estrutura do edifício é bastante "pesada" seria difícil diminuir a classe de inércia para fraca, mantendo as características térmicas e construtivas minimamente constantes. Por esse motivo este estudo apenas contemplará a situação de inércia forte para comparar com os resultados obtidos com o edifício base, dado que a situação de inércia fraca obrigaria a demasiadas alterações nas características construtivas e consequentemente térmicas do edifício.

Para que a classe de inércia do edifício passasse de média a forte, foram efectuadas duas alterações:

1. Alteração no Pavimento - Aumentando a altura de areia e argamassa, obtendo assim o valor de  $M_{si} = 167 \text{ kg/m}^2$ ;

2. Alteração da área de paredes interiores - Aumentando a área das paredes interiores (os pilares interiores no software são considerados de paredes interiores) passando a obter o valor de  $S_i=100 \text{ m}^2$ .

Desta forma foram obtidos os resultados seguintes:

**Tabela 4.6 - Variação das Nic, Nvc e Potências Nominais de Aquecimento e Arrefecimento com a Alteração da classe de Inércia Térmica**

Classe de Inércia	Necessidades Nominais [kWh/m <sup>2</sup> .ano]		Potências Nominais [kW]		IEE [kgep/m <sup>2</sup> ]
	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento	
Média	38,66	11,88	25,17	38,80	21,4
Forte	36,46	9,63	24,26	35,01	21,4

Como se pode verificar, quando o edifício tem uma inércia térmica forte as necessidades energéticas são mais baixas assim como as potências de aquecimento e arrefecimento. No caso das Nic a diminuição chega aos 18,9%. Em termos globais, as Necessidades Energéticas diminuem praticamente 9% o que resultará numa poupança na factura energética. No que diz respeito às Potências Térmicas regista-se uma diminuição de cerca de 10% na estação de arrefecimento e de aproximadamente 4% na estação de aquecimento.

Desta alteração na inércia térmica do edifício pode concluir-se que tal como muitos outros parâmetros também este tem influência do ponto de vista energético e inclusivamente do ponto de vista económico. Uma vez que o edifício, na eventualidade de não sofrer nenhuma alteração nas condições definidas inicialmente, manterá as necessidades Energéticas constantes ao longo do período de funcionamento, uma classe de inércia forte irá garantir uma poupança que se prolongará durante todo este período, quando comparada com a classe de inércia média. Neste caso poderá afirmar-se que uma classe de inércia forte é sinónimo de poupança na factura energética a ser paga. Esta poupança será importante ao longo de todo o período de utilização do espaço, no entanto, também o investimento inicial será menor pois uma redução da potências significa uma redução do custo inicial das máquinas que irão garantir a climatização do espaço.

## 4.5 Alteração da Localização

Até este ponto todas as alterações se tratavam de mudanças pontuais no edifício ou na sua ocupação. Neste ponto a alteração será mais extrema, pois será estudada a resposta do edifício caso a sua localização fosse diferente.

Como referido na apresentação do edifício, este encontra-se inserido no concelho de Almada correspondendo às zonas climáticas II/ V1, definidas pelo RCCTE. Este regulamento divide o país num total de nove zonas climáticas e será então estudada qual a resposta energética do edifício para cada uma dessas localizações. Para isso foi alterado o concelho onde estaria localizado o edifício base, correspondendo cada novo concelho a uma nova zona climática.

Os resultados obtidos nesta fase não serão expostos em forma de gráfico pois a sua evolução não faria sentido. Estão assim presentes na tabela seguinte, onde os valores para cada localização serão comparados com 80% do valor limite imposto pelo RCCTE, pois é esse valor o considerado necessário cumprir para que o software STE2006 considere o edifício em situação regulamentar. Para que melhor se perceba qual a situação do edifício para cada localização estão sombreados a cor vermelha as situações em que o edifício não se encontra regulamentar e a cor verde aquelas em que os regulamentos são respeitados. É importante lembrar que para o edifício estar em situação regulamentar é necessário e obrigatório que tanto as Nic como as Nvc cumpram os limites impostos, logo, existindo uma delas que seja superior ao limite imposto, a situação do edifício é considerada não regulamentar.

**Tabela 4.7 - Resposta do Edifício Base (Pé Direito = 4,32 m) para diferentes localizações**

Concelhos	Zonas		Necessidades Aquecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]		Necessidades Arrefecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]		Situação Regulamentar	IEE [kgep/m <sup>2</sup> ]
	I	V	Nic	80% Ni	Nvc	80% Nv		
Almada	1	1	38,66	40,26	11,88	17,60	Sim	21,4
Matosinhos	2	1	56,61	53,53	6,69	12,80	Não	21,1
Melgaço	3	1	122,61	91,14	6,69	12,80	Não	20,9
Silves	1	2	37,78	40,89	20,74	25,60	Sim	21,0
Nelas	2	2	64,69	59,54	7,52	14,40	Não	21,8
Aguiar da Beira	3	2	104,56	80,39	7,52	14,40	Não	21,4
Ponte de Sôr	1	3	51,22	49,10	20,76	25,60	Não	21,3
Abrantes	2	3	63,25	55,11	16,02	20,80	Não	21,5
Baião	3	3	90,98	71,54	16,02	20,80	Não	21,0

Da análise à tabela retira-se que apenas em duas zonas climáticas o Edifício Base estaria em situação regulamentar. Essas duas zonas são aquelas em clima é menos extremo, correspondendo às zonas climáticas II/V1 e II/V2. Outro facto que se constata com a leitura destes resultados é que o edifício base tem como ponto fraco a estação de aquecimento, sendo apenas devido às Necessidades Nominiais de Aquecimento serem superiores aos valores limite que o edifício se encontra em situação não regulamentar quando localizado em sete das nove zonas possíveis.



Como foi possível verificar no subcapítulo 4.1, o facto do pé direito ser bastante elevado era completamente desfavorável ao bom desempenho energético do edifício. Quando reduzido o pé direito para 2,5 metros, os resultados obtidos foram melhores e será então estudada a alteração da localização do edifício considerando um pé direito de 2,5 metros. Na tabela seguinte estão os valores obtidos para este caso:

**Tabela 4.8 - Resposta do Edifício Base (Pé Direito = 2,50 m) para diferentes localizações**

Concelhos	Zonas		Necessidades Aquecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]		Necessidades Arrefecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]		Situação Regulamentar	IEE [kgep/m <sup>2</sup> ]
	I	V	Nic	80% Ni	Nvc	80% Nv		
Almada	1	1	22,61	41,98	15,72	17,6	Sim	21,2
Matosinhos	2	1	33,94	55,86	10,61	12,8	Sim	21,0
Melgaço	3	1	79,70	95,23	10,61	12,8	Sim	20,8
Silves	1	2	22,00	42,63	23,53	25,6	Sim	20,8
Nelas	2	2	39,21	62,15	11,20	14,4	Sim	21,6
Aguiar da Beira	3	2	67,02	83,98	11,20	14,4	Sim	21,3
Ponte de Sôr	1	3	30,36	51,23	23,55	25,6	Sim	21,2
Abrantes	2	3	39,09	57,52	19,52	20,8	Sim	21,4
Baião	3	3	57,81	74,72	19,52	20,8	Sim	20,9

Neste caso não é necessário sombrear nenhuma célula da tabela 4.8 pois em todas as localizações o edifício se encontra em situação regulamentar. Desta forma acentua-se a importância que o pé direito tem no desempenho energético de um edifício, alterando radicalmente os resultados obtidos (quando comparado com um pé direito de 4,32 metros).

É então importante concluir e reforçar a ideia que cada parâmetro relacionado com um edifício deve ser tido em conta desde o primeiro momento do projecto. A variação da localização vem mostrar que um edifício não tem a mesma eficiência qualquer que seja o concelho em que está inserido, obrigando a que numa fase de projecto se realizem várias simulações de modo a indicar o melhor caminho quando for necessária a tomada de decisões.

## 4.6 Considerações sobre as alterações efectuadas

Neste capítulo procedeu-se à alteração de várias características relacionadas com o Edifício Base. No que diz respeito às respostas obtidas através do software não se verificaram surpresas, tendo todos os resultados obedecido às regras impostas pelos regulamentos.

Na concepção de um edifício existem inúmeros pormenores e variáveis que têm influência na vida futura do espaço que se projecta e com os resultados obtidos espera-se

contribuir para que cada vez mais o urbanismo seja eficiente do ponto de vista energético. Nos dias actuais a preocupação principal é a poupança, seja ela energética ou económica. O recurso às energias verdes é cada vez mais o caminho a tomar, no entanto, se não existirem edifícios que à partida sejam eficientes as facturas acabam por se manter inalteradas.

## 5 Psicrometria

Até aqui o trabalho desenvolvido foi puramente com o intuito de perceber e confirmar as respostas energéticas do edifício. Para obter essas respostas foi utilizado um software - RCCTE-STE - que, como foi já referido fornecia ao utilizador não só os parâmetros que irão servir de base à verificação mas também as potências nominais de simulação (de aquecimento e arrefecimento). Neste capítulo serão analisadas as evoluções psicrométricas para as duas estações, sendo que serão aplicadas as condições extremas e não as de projecto, com os dados fornecidos pelo RCCTE. De maneira a comprovar a validade da base de dados do programa e a efectuar um cruzamento de métodos, determinar-se-ão as horas a que ocorrem os extremos através do método de Carrier. Sendo assim, este capítulo tem uma incidência completa sobre a área da climatização, com uma componente completamente teórica.

Para efectuar o cálculo das potências necessárias (Aquecimento e Arrefecimento) o software contempla a insuflação do caudal mínimo obrigatório de ar novo ( $5\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ) para o caso do Edifício Base), tal como se poderá verificar no quadro referente à ventilação presente no STE e que poderá ser consultado nos anexos. No entanto, para o Edifício Base será contemplada a situação de recirculação de ar para o interior do espaço. Desta forma é possível diminuir a diferença de temperaturas do ar entre a entrada e a saída do sistema de climatização. Esta diminuição da diferença entre as temperaturas implica um aumento do caudal insuflado para o interior do espaço, uma vez que ao caudal mínimo obrigatório acresce o caudal de recirculação.

Após a situação de recirculação estar bem definida (condições de mistura) é possível efectuar o cálculo das potências necessárias e efectuar a comparação entre estas (calculadas com base na análise psicrométrica) e as calculadas pelo software.

### 5.1 Verificação das Condições de Estudo

Tal como referido acima, a base de dados do software possui a evolução horária das condições exteriores para cada concelho. É uma base extensa que possui dados relativos às 8760 horas do ano. Da consulta desta base de dados retira-se que a temperatura máxima no concelho de Almada ocorre pelas 14 horas do dia 5 de Agosto e tem o valor de  $35,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Da mesma forma se retira que a temperatura mínima para este concelho ocorre pelas 6 horas do dia 5 de Dezembro e tem o valor de  $4,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . É importante referir que estes dias são referentes a anos não bissextos.

No entanto, uma das limitações do software prende-se com a impossibilidade de determinar a evolução horária das cargas presentes no edifício. Neste sentido é possível recorrer ao método Carrier, dado que este método permite calcular a evolução horária das cargas do

edifício. Sendo possível a determinação das cargas hora a hora, é possível saber quais os valores mínimo e máximo, sendo que estes correspondem às situações de carga máxima na estação de aquecimento e arrefecimento respectivamente. Como o estudo a efectuar é exactamente nestas situações, efectua-se um cruzamento de dados entre o método Carrier e a base de dados do STE afim de determinar quais as condições exteriores verificadas nas horas determinadas com o método Carrier [9].

Nos anexos estão presentes as tabelas com os valores das cargas referentes ao Edifício Base durante o período de funcionamento. Essas tabelas foram preenchidas de acordo com os factores presentes no Manual Carrier, contabilizando também a inércia térmica. Como se poderá verificar nos anexos (Anexo XV a) e b)), a hora a que a carga é máxima para a estação de Arrefecimento é às 15 horas enquanto que para a estação de Aquecimento a carga é máxima às 6 horas.

Com o cruzamento da base de dados com o método Carrier retira-se que o estudo psicrométrico para a estação de Aquecimento será efectuada com base nas condições exteriores correspondentes às 6 horas do dia 5 de Dezembro. A esta hora o sistema de climatização já se encontra em funcionamento, como se poderá comprovar no gráfico de evolução de temperaturas presente no STE assim como no quadro de ventilação. Estes elementos poderão ser consultados nos anexos. O estudo psicrométrico para a estação de arrefecimento será efectuado com base nas condições exteriores correspondentes às 15 horas do dia 5 de Agosto.

## **5.2 Estação de Aquecimento**

Segundo a determinação da temperatura mínima efectuada com o cruzamento da base de dados com o método Carrier, retira-se que para o concelho de Almada se tem uma temperatura mínima de 4,8 °C. Do livro "Climatização em Edifícios" [5] retira-se que a humidade específica para a zona de Almada, no Inverno, é de 6 g H<sub>2</sub>O/kg ar seco. No diagrama psicrométrico é impossível marcar este ponto uma vez que este se situa acima da linha de saturação. Portanto, as condições exteriores consideradas são:

$$T_{\text{exterior}} = 4,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$HR = 100 \%$$

Com base nas noções de conforto termo-higrométrico as condições interiores, para a estação de aquecimento são:

$$T_{interior} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$HR = 50\%$$

Com estes dados marcam-se no diagrama psicrométrico os dois pontos ( A para as condições do ambiente interior e E para as condições exteriores).

Para que se consiga obter a evolução psicrométrica no interior do espaço é necessário saber qual o factor térmico ambiente (FTA). Este obtém-se da relação entre o calor sensível e o calor total que existem no interior do espaço (iluminação, equipamentos e ocupação). Com base nos dados do STE é possível o FQS - Factor de Calor Sensível.

**Tabela 5.1 - Densidades das Fontes de Calor no Interior do Espaço**

Fontes de Calor	Densidades [W/m <sup>2</sup> ]	Calor [W]
Iluminação	5	3489,55
Equipamento	15	10468,64
Actividade dos Ocupantes	120	5583,27

É de notar que 46% do calor produzido pela actividade dos ocupantes é calor latente, o que resulta num FQS:

$$FQS = \frac{\text{Calor Sensível}}{\text{Calor Total}} \quad 14)$$

$$FQS = 1,18$$

Na estação de aquecimento o FQS é superior a um, uma vez que se considera que o calor latente é de sinal contrário ao calor sensível. Esta consideração prende-se com a evolução psicrométrica necessária para que o ar chegue às condições pretendidas. Nesta fase é possível traçar no diagrama o FTA (recta com a inclinação do FQS mas que passa no ponto A), recta essa onde estará coincidente o ponto de insuflação. O ponto de insuflação foi determinado com base nas características e limitações do equipamento de insuflação de ar para o interior do espaço. No diagrama psicrométrico presente na figura 6.1 já se encontra assinalado este ponto

assim como os restantes que serão necessários para a determinação do ponto de mistura, uma vez que se considera que se efectua recirculação de ar.

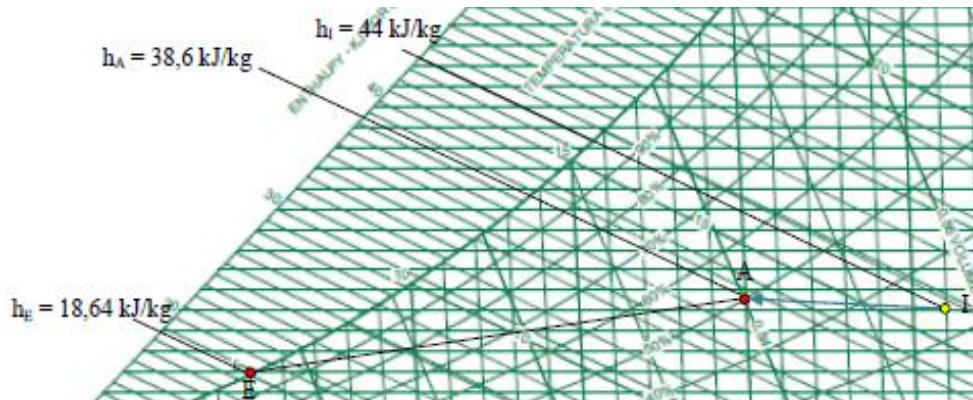


Figura 5.1 - Pontos no diagrama psicrométrico ( E, A e I )

### 5.2.1 Determinação do Ponto de Mistura

Quando se utiliza a recirculação de ar num sistema de climatização espera-se, como é óbvio, obter vantagens. A maior delas é o facto de deixar de ser necessário realizar um aquecimento/arrefecimento tão elevado no ar. A mistura do ar que vem do exterior com o ar de recirculação diminui, por vezes de forma considerável, a amplitude térmica do ar desde que este entra no sistema de climatização. Claro está que o caudal insuflado será sempre superior ao mínimo obrigatório mas esse acréscimo de caudal compensa, dado que, desta forma o custo dos elementos do sistema de climatização responsáveis pelas trocas de calor com o ar irá ser inferior.

O ponto de mistura - M - corresponde ao estado a que o ar se encontra imediatamente após a mistura dos dois caudais (ar vindo do exterior + ar de recirculação) sendo assinalado no diagrama em cima de um segmento de recta que une o ponto E ao A. A relação entre estes caudais irá definir a proximidade do ponto M às extremidades dos pontos

A determinação do ponto de mistura teve como base a divisão da potência de aquecimento em duas fracções:

- $P_{\text{Ventilação}}$  - Potência necessária para colocar o ar que vem do exterior à temperatura ambiente;
- $P_{\text{Fixas}}$  - Potência adicional que é necessário fornecer ao ar para ultrapassar as perdas fixas desde que se dá a insuflação até ao ponto ambiente.

Posto isto e com base no valor de ar mínimo que o regulamento impõe que se introduza no espaço a climatizar, é possível determinar a  $P_{\text{Ventilação}}$ . É necessário porém determinar qual o caudal a insuflar.

$$Caudal\ Vol\acute{u}mico\ m\acute{in}imo = 3490\ m^3/h = 0,9694\ m^3/s$$

Com o volume espec\ufedilfico do ar \u00e0 temperatura exterior que se obt\u00e9m no diagrama psicrom\u00e9trico \u00e9 poss\ufedilvel determinar o caudal m\u00e1ssico m\ufedilnimo de ar novo:

$$v_E = 0,806\ m^3/kg$$

que resulta em:

$$\dot{m}_E = \frac{0,806}{0,9694} = 0,831\ kg/s$$

Com o valor das entalpias dos pontos exterior e ambiente e com o caudal m\u00e1ssico de ar novo -  $\dot{m}_E$  - \u00e9 poss\ufedilvel calcula  $P_{Ventila\c{c}\tilde{o}}$ :

$$P_{Ventila\c{c}\tilde{o}} = \dot{m}_E \cdot (h_A - h_E) \quad 15)$$

$$P_{Ventila\c{c}\tilde{o}} = 0,831 \cdot (38,6 - 18,64)$$

$$P_{Ventila\c{c}\tilde{o}} = 16,60\ kW$$

Desta forma e com base no facto de:

$$P_{Aquecimento} = P_{Ventila\c{c}\tilde{o}} + P_{Fixas} \quad 16)$$

Utilizando o valor da pot\u00eancia de arrefecimento calculada pelo STE, determina-se o valor de  $P_{Fixas}$ , sabendo que:

$$P_{Aquecimento} = 25,17\ kW\ e\ P_{Ventila\c{c}\tilde{o}} = 16,60\ kW$$

logo:

$$P_{Fixas} = 25,17 - 16,60$$

$$P_{Fixas} = 8,57\ kW$$

Como referido,  $P_{Fixas}$  é a potência adicional fornecida ao ar para ultrapassar as perdas existentes no interior do espaço, desde que é insuflado até ao ponto das condições ambiente. Como tal, esta potência adicional é calculada segundo a seguinte equação:

$$P_{Fixas} = \dot{m}_I \cdot (h_I - h_A) \quad (17)$$

em que

$$\dot{m}_I = \dot{m}_E + \dot{m}_A \quad (18)$$

Desta forma calcula-se qual o caudal insuflado e assim será possível determinar qual o ponto de mistura:

$$\dot{m}_I = \frac{P_{Fixas}}{(h_I - h_A)}$$

$$\dot{m}_I = 1,588 \text{ kg/s}$$

Dado que o caudal mínimo de ar novo é conhecido, assim se determina qual o caudal de recirculação -  $\dot{m}_A$ .

$$\dot{m}_A = 1,588 - 0,831$$

$$\dot{m}_A = 0,757 \text{ kg/s}$$

Através da regra da alavanca, efectuando medições no diagrama psicrométrico, chega-se ao ponto de mistura. Na figura seguinte pode ser visto qual o ponto de mistura que foi obtido com base nos cálculos até aqui efectuados:

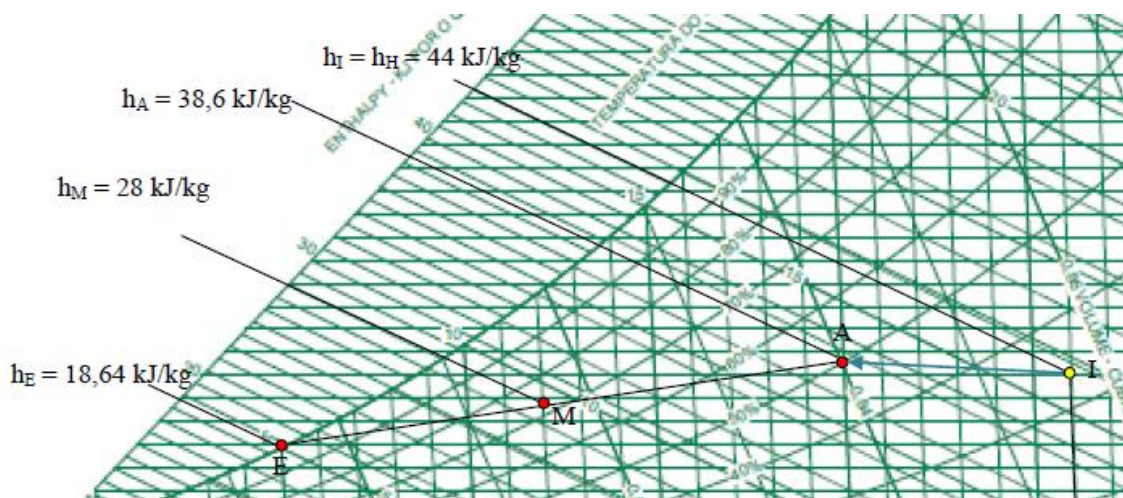


Figura 5.2 -Representação do ponto de mistura no diagrama psicrométrico



### 5.2.2 Cálculo da Potência de Aquecimento

Com base em todos os valores determinados até agora e nas entalpias dos vários pontos presentes no diagrama, é possível calcular a potência de aquecimento da seguinte forma:

$$P_{Aquecimento} = \dot{m}_I \cdot (h_I - h_M) \quad 19)$$

$$P_{Aquecimento} = 1,588 \cdot (44 - 28)$$

$$P_{Aquecimento} = 25,41 \text{ kW}$$

Comparando este valor com o calculado pelo STE ( 25,17 kW ), verifica-se uma diferença de apenas 0,58%.

### 5.2.3 Evolução Psicrométrica

Os pontos principais que constam no diagrama psicrométrico estão já definidos, no entanto é necessário descrever qual a ordem e o tipo de processos que o ar sofre desde o ponto M até ao ponto A.

1. Quando o ar de recirculação se mistura com o ar novo vindo do exterior sofre um aquecimento puramente sensível, resultando no diagrama numa recta horizontal até ao ponto H ( ponto que resulta da intersecção da recta horizontal com a recta de entalpia constante que passa no ponto I );

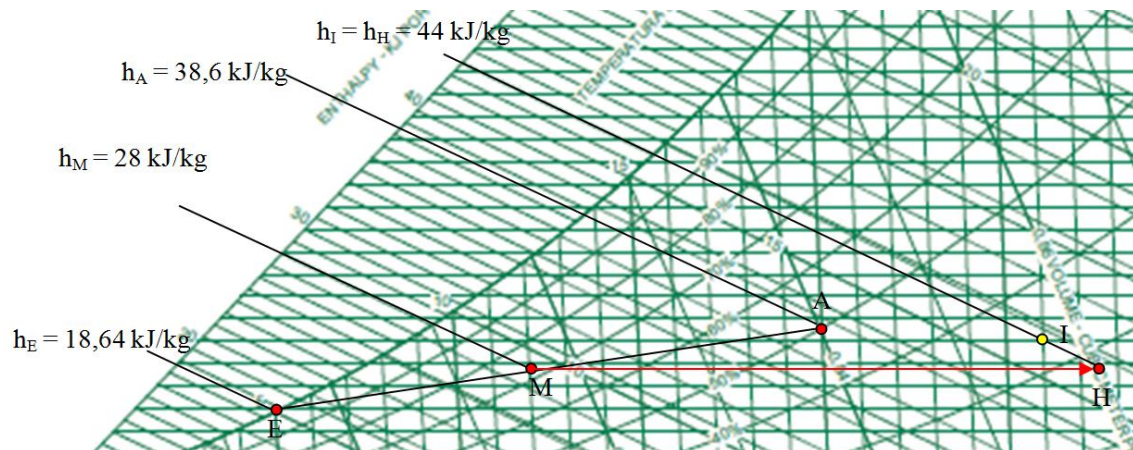


Figura 5.3 - Evolução Psicrométrica aquecimento (M até H)

2. No ponto H o ar encontra-se com uma humidade específica bastante baixa para que seguindo a evolução natural após a insuflação ( seguindo a linha do FTA ) atinja o ponto A. Por este motivo é necessário proceder-se a uma humidificação do ar, ocorrendo esta a entalpia constante, tal como se pode verificar na figura seguinte:

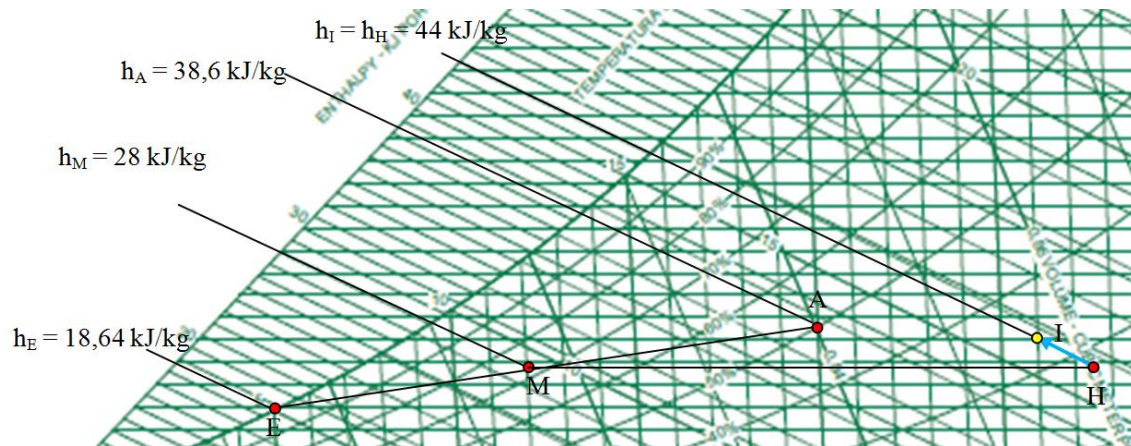


Figura 5.4 - Evolução Psicrométrica aquecimento (H até I)

3. Do ponto I até ao ponto A, a evolução ocorre de forma natural seguindo a linha do FTA. Desta forma a evolução psicrométrica para a estação de aquecimento fica concluída e pode ser vista na figura seguinte.

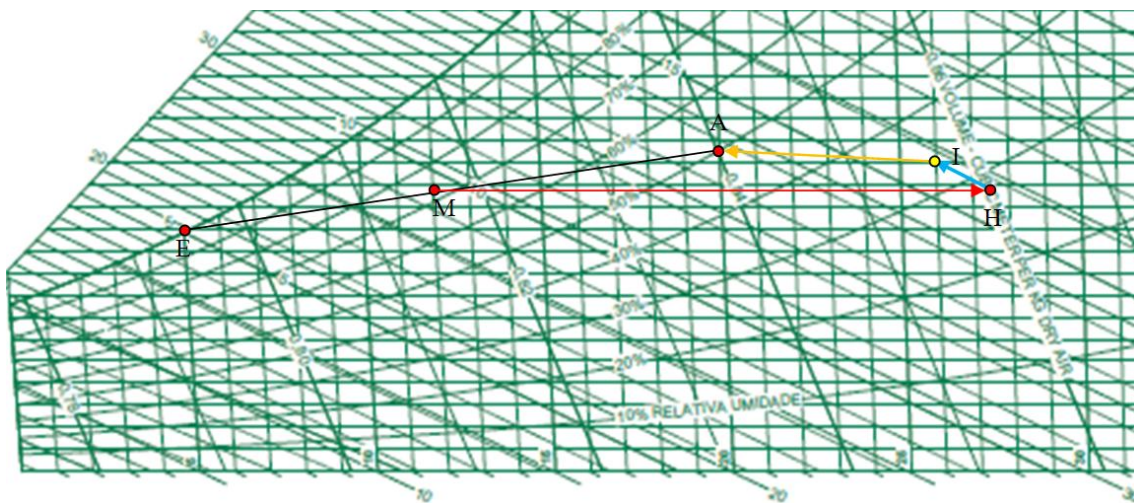


Figura 5.5 - Evolução Psicrométrica completa para a Estação de Aquecimento

Nos anexos está presente o diagrama psicrométrico em tamanho A4.

### 5.3 Estação de Arrefecimento

Analogamente aos procedimentos efectuados para a estação de aquecimento, também para a estação de arrefecimento se traçará a evolução psicrométrica. Todas as considerações relacionadas com a divisão da potência em duas fracções efectuadas na estação de aquecimento se mantêm, e as condições exteriores e interiores foram determinadas da mesma forma. Da base de dados do STE retira-se a temperatura para a hora de carga máxima e do livro já referido para a estação de Aquecimento [5] a humidade específica para o concelho de Almada.

$$T_{\text{exterior}} = 35,2^{\circ}\text{C}$$

$$\text{humidade específica} = 11 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ar seco}}$$

As condições interiores são definidas com base nas noções de conforto termo-higrométrico:

$$T_{\text{interior}} = 25^{\circ}\text{C}$$

$$HR = 50 \%$$

Dado que as fontes de calor consideradas para a estação de aquecimento permanecem inalteradas, determina-se o FQS com base nos valores presentes na tabela 6.1, resultando em:

$$FQS = 0,87$$

Desta forma é possível traçar a recta do FTA, uma vez que os pontos das condições exteriores e interiores são já conhecidos.

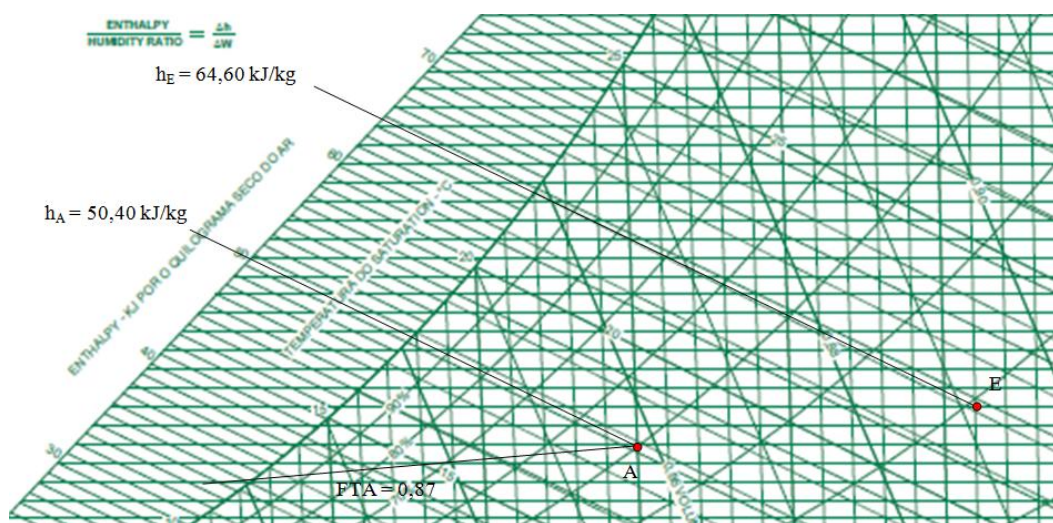


Figura 5.6 - Pontos no diagrama psicrométrico (A e E)



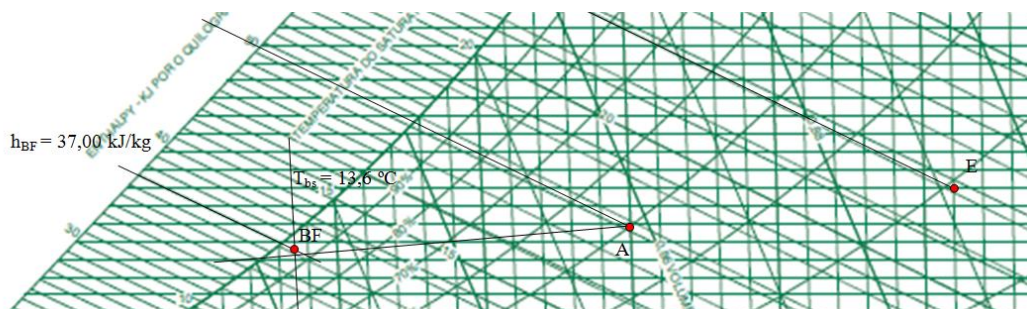
Enquanto que no caso da estação de aquecimento o ponto de insuflação foi determinado com base nas características e limitações dos difusores, no caso da estação de arrefecimento este ponto será determinado com base na bateria de frio e nas suas características. Nos catálogos consultados, que no capítulo referente à escolha do equipamento serão referidos, consta que a bateria de frio a utilizar será de 8 filas. Esta característica da bateria de frio será importante para a determinação do factor de bypass. Este fenómeno presente nas baterias de frio consiste na determinação da percentagem de ar que passa e não sofre o arrefecimento, uma vez que o contacto com as serpentinas de arrefecimento é inexistente. Como tal, quanto maior o número de filas presentes na bateria de frio, menor o factor de bypass, dado que a área de contacto serpentinas/ar aumenta com o número de filas. Na tabela presente num documento elaborado pelo Prof. Luíz Carlos Martinelli Jr. [19] foram retirados os seguintes valores para o factor de bypass:

**Tabela 5.2 - Factores de Bypass para uma Bateria de Frio com 8 Filas [retirado de [9]]**

Velocidade do Ar [m/s]	1,5	2,0	2,5	3,0
Factor de Bypass	0,01	0,02	0,03	0,04

Como se pode verificar, devido ao elevado número de filas o valor do factor de bypass é extremamente reduzido, não ultrapassando nunca os 4%. Por este motivo, a temperatura de registada à saída da bateria de frio será bastante aproximada da temperatura da bateria de frio, ou seja, praticamente todo o ar que atravessa este elemento é arrefecido até à temperatura de referência. Dado que todos estes valores de temperaturas estão dependentes da escolha do equipamento foi necessário um estudo prévio sobre o tipo de equipamento a utilizar. Foram retirados os valores e serão descritos no capítulo seguinte, com pormenor, os parâmetros que levaram à escolha de cada elemento presente no sistema de climatização.

Na figura seguinte estará já representado o ponto de saída da bateria de frio:



**Figura 5.7 - Representação no diagrama psicrométrico do ponto referente à saída da bateria de frio**

### 5.3.1 Determinação do Ponto de Mistura

Analogamente ao efectuado na estação de aquecimento, também na estação de arrefecimento será efectuado recirculação de ar. Como tal, é necessário determinar o ponto de mistura, obtido através dos caudais de ar novo e de recirculação. O método de cálculo utilizado é exactamente o mesmo que foi utilizado na estação de aquecimento. Como tal, sabe-se que:

$$\text{Caudal Volúmico mínimo} = 3490 \text{ m}^3/\text{h} = 0,9694 \text{ m}^3/\text{s}$$

Com o volume específico do ar que se retira do diagrama psicrométrico calcula-se o caudal mássico de ar novo que é necessário introduzir no interior do espaço.

$$v_E = 0,892 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\dot{m}_E = \frac{0,892}{0,9694} = 0,920 \text{ kg/s}$$

Com o caudal mássico é então possível determinar qual a potência de ventilação. Então, com base na equação 15) tem-se que para a estação de arrefecimento:

$$P_{\text{Ventilação}} = \dot{m}_E \cdot (h_E - h_A) \quad 20)$$

$$P_{\text{Ventilação}} = 0,920 \cdot (63,90 - 50,40)$$

$$P_{\text{Ventilação}} = 12,42 \text{ kW}$$

Analogamente à equação 16) tem-se que:

$$P_{\text{Arrefecimento}} = P_{\text{Ventilação}} + P_{\text{Fixas}} \quad 21)$$

Com base no valor de  $P_{\text{Arrefecimento}}$  obtido através do STE ( 38,72 kW ), tem-se que:

$$P_{\text{Fixas}} = 26,38 \text{ kW}$$

Tal como na equação 17) será através deste valor que será determinado o caudal insuflado através da bateria de frio e que posteriormente será insuflado para o interior do espaço.

$$P_{\text{Fixas}} = \dot{m}_{BF} \cdot (h_A - h_{BF}) \quad 22)$$

$$26,38 = \dot{m}_{BF} \cdot (50,40 - 37,00)$$

$$\dot{m}_{BF} = 1,969 \text{ kg/s}$$

Deste valor retira-se que o caudal de recirculação é de:

$$\dot{m}_A = 1,049 \text{ kg/s}$$

Tal como no caso da estação de aquecimento, será através da regra da alavanca e efectuando medições no diagrama psicrométrico que será determinado o ponto de mistura referente a esta situação. No gráfico seguinte está então representado o ponto de mistura relativo às condições acima descritas, assim como os outros pontos anteriormente referidos:

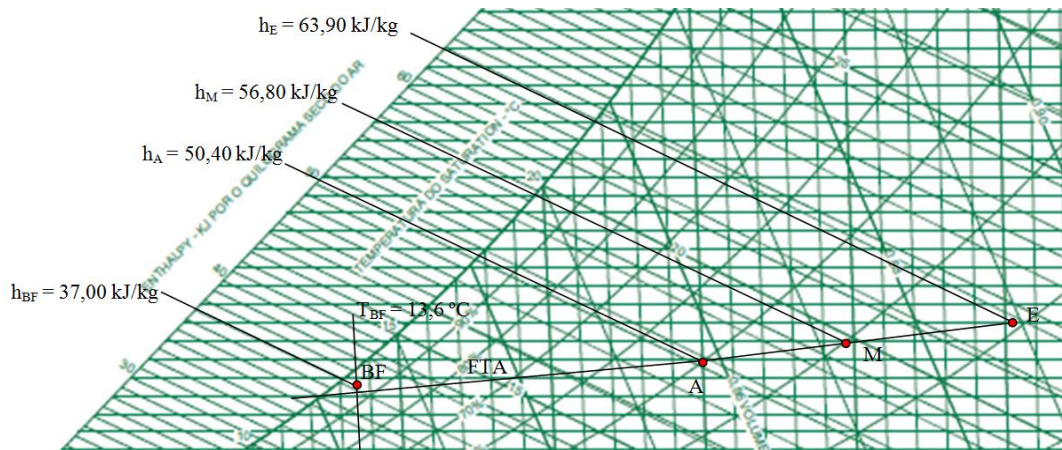


Figura 5.8 - Representação no diagrama psicrométrico do Ponto de Mistura (M)

### 5.3.2 Cálculo da Potência de Arrefecimento

Tal como efectuado para a Potência de Aquecimento, depois de determinados o ponto de mistura e o caudal total insuflado, é possível determinar a Potência de Arrefecimento:

$$P_{Arrefecimento} = \dot{m}_I \cdot (h_M - h_{BF}) \quad 23)$$

$$P_{Arrefecimento} = 1,969 \cdot (56,80 - 37,00)$$

$$P_{Arrefecimento} = 38,60 \text{ kW}$$

Comparando este valor com o obtido através do software STE ( 38,80 kW ) existe uma diferença de 0,46%.

### 5.3.3 Evolução Psicrométrica

Uma vez que os pontos principais estão já definidos, é necessário descrever quais os processos que o ar sofre desde que dá entrada no sistema de climatização até que é insuflado para o interior do espaço.

1. Dado que o sistema contempla a recirculação de ar, a evolução psicrométrica terá início no ponto M. Deste ponto até ao ponto BF o ar sofrerá um arrefecimento e a sua humidade relativa irá aumentar consideravelmente, chegando aos 96%.

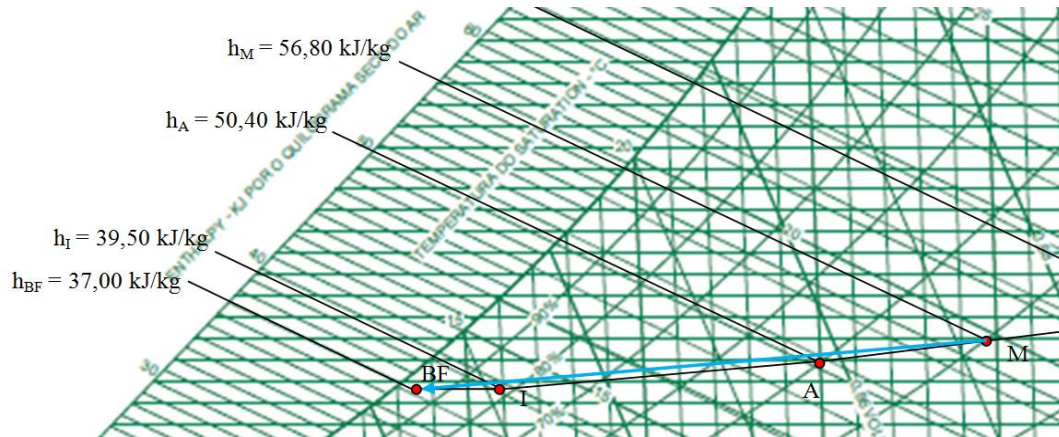


Figura 5.9 - Evolução Psicrométrica arrefecimento (M até BF)

2. Como se pode verificar pela figura anterior, o ponto BF não é coincidente com a recta referente ao Factor Térmico Ambiente. Posto isto existem duas opções:
  - a) as condições interiores seriam alteradas, passando a humidade relativa a ser superior, deslocando o ponto A verticalmente de maneira a que a linha do Factor Térmico Ambiente passasse no ponto BF. Desta forma o ar seria insuflado nesse mesmo ponto (BF). Com esta solução verificava-se a insuflação do ar com uma humidade relativa bastante elevada, o que poderia causar algum desconforto aos ocupantes do espaço.
  - b) após o ar sair da bateria de frio, proceder-se-ia ao aquecimento deste, até que a recta do Factor Térmico Ambiente ser interceptada. Desta forma seria possível diminuir a humidade relativa para níveis mais aceitáveis no que diz respeito ao conforto no interior do espaço.

Será então a solução b) a escolhida. Proceder-se-á então ao aquecimento do ar desde o ponto BF até ao ponto I, ponto onde será insuflado para o interior do espaço. Este aquecimento será efectuado através duma resistência eléctrica, uma vez que não existe a necessidade de recorrer a uma bateria de aquecimento. A utilização de uma

resistência eléctrica para este efeito é uma situação contemplada no RSECE [2], onde se pode verificar no Capítulo V, Artigo 13º, ponto 6 que:

"A potência eléctrica para aquecimento por efeito de Joule não pode exceder 5% da potência térmica de aquecimento até ao limite de 25 kW por fracção autónoma de edifício, excepto nos casos em que seja demonstrada no projecto a não viabilidade económica da instalação de sistemas alternativos, segundo a metodologia definida no presente Regulamento.".

Então, no diagrama psicrométrico fica:

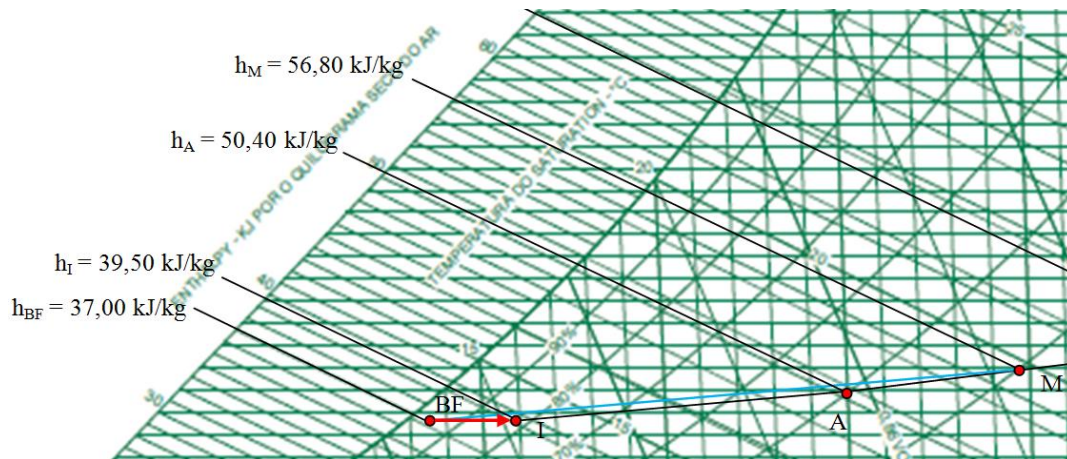


Figura 5.10 - Evolução Psicrométrica Arrefecimento (BF até I)

Com base nos valores presentes no diagrama psicrométrico referentes às entalpias é possível calcular qual a potência eléctrica por efeito de Joule que é necessária para efectuar o aquecimento do ar do ponto BF até ao ponto I:

$$P_{eléctrica} = \dot{m}_I \cdot (h_I - h_{BF}) \quad 24)$$

Então:

$$P_{eléctrica} = 1,920 \cdot (39,50 - 37,00)$$

$$P_{eléctrica} = 4,80 \text{ kW}$$

Para que este método de aquecimento do ar esteja de acordo com o RSECE é necessário respeitar a condição:

$$P_{eléctrica} < 0,25 \times P_{aquecimento} \quad 25)$$



Então:

$$P_{elétrica} < 0,25 \times 25,41$$

$$P_{elétrica} < 6,35 \text{ kW}$$

Condição esta que se verifica, uma vez que a Potência Eléctrica tem o valor de 4,80 kW.

- Do ponto I ao ponto A o ar sofrerá uma evolução natural que ocorrerá segundo a recta do Factor Térmico Ambiente. Na figura seguinte está presente toda a evolução psicrométrica que o ar sofre desde que entra no sistema de climatização até que é insuflado para o interior do espaço.

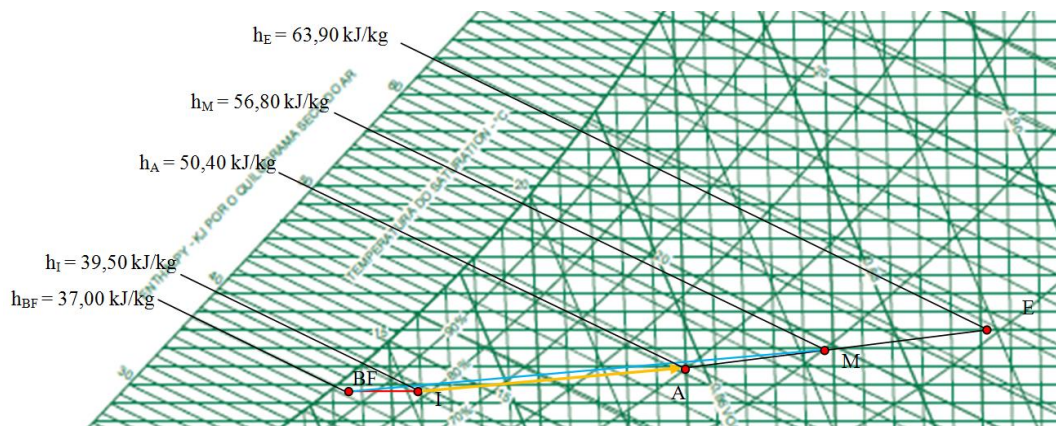


Figura 5.11 - Evolução Psicrométrica Arrefecimento (I até A)

Então a evolução psicrométrica completa representada no diagrama será:

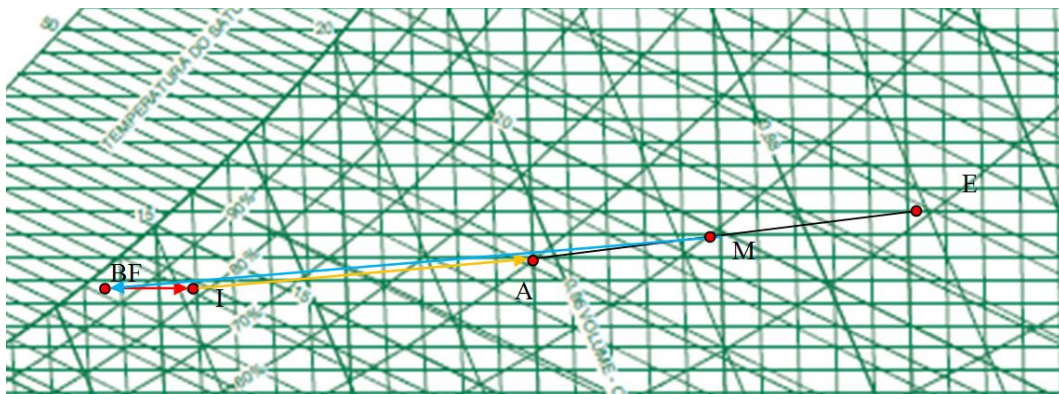


Figura 5.12 - Evolução Psicrométrica completa para a Estação de Arrefecimento

Nos anexos está presente o diagrama psicrométrico para a estação de arrefecimento em tamanho A4.



## 6 Sistema de Climatização

Para que o espaço considerado seja climatizado da melhor forma possível, sofrendo o ar todas as alterações presentes e referidas nos diagramas psicrométricos do capítulo anterior, é necessário conceber um sistema de climatização que permita atingir as condições interiores pretendidas. Neste estudo será concebido um plano para o sistema de climatização, não sendo este com o nível de detalhe utilizado na construção real de um edifício. Este estudo incluirá a escolha do sistema assim como o dimensionamento das condutas, apenas do ponto de vista académico.

### 6.1 Breve Descrição do Sistema

De forma a garantir as condições de insuflação referidas no capítulo anterior irá ser utilizada uma Unidade de Tratamento de Ar - UTA.

Uma UTA consiste na aglomeração de vários módulos, sendo que cada um deles terá um elemento necessário ao tratamento do ar. Desta forma, é possível concentrar no mesmo bloco todos os elementos, permitindo uma poupança no espaço necessário a esta parte do sistema de climatização. Usualmente as UTA's são colocadas no topo dos edifícios, não havendo portanto qualquer impacto visual nas fachadas. Deste forma também se garante um modo de acesso eficaz e simples. Na figura seguinte poderá ser observado qual o aspecto exterior de uma UTA:



Figura 6.1- Aspecto exterior de uma Unidade de Tratamento de Ar [Catálogo Online]

No entanto, a UTA não é o único elemento do sistema de climatização uma vez que não é capaz de produzir calor para transmitir ao ar. Então é necessário que exista outro elemento que seja capaz de produzir esse mesmo calor. Esse elemento será um chiller de aquecimento e arrefecimento, que irá transmitir o calor necessário à UTA para esta transmitir ao ar. Esta

transmissão será efectuada através de água ( para o caso particular do edifício base, pois também pode ser efectuada através de líquido frigorigénio ).



**Figura 6.2 - Aspecto exterior de um chiller [ Catálogo Daikin ]**

Estes serão os principais elementos do sistema de climatização do Edifício Base. Serão também seleccionados os difusores assim como será efectuada o dimensionamento das condutas.

Portanto, o sistema de climatização do edifício base será composto por:

- Chiller;
- Unidade de Tratamento de Ar;
- Condutas;
- Difusores.

De maneira a garantir uma correcta climatização do espaço é necessário que existam elementos capazes de interpretar as necessidades no interior do espaço e enviar essa mensagem para os elementos que realizam as operações sobre o ar. Como tal, é necessário que exista uma instalação de sensores e consequente comando sobre os aparelhos do sistema de climatização.

## 6.2 Escolha do equipamento

### 6.2.1 Chiller

Para a escolha do chiller existem à partida dois parâmetros fundamentais que irão servir de base à escolha a realizar. São estes a Potência de Aquecimento e a Potência de Arrefecimento. Claro está que outras características da máquina podem ser um constrangimento à sua escolha, no entanto, será com base nas potências que a primeira selecção será efectuada.

Uma vez que o sistema de climatização contempla a estação de arrefecimento e de aquecimento, é necessário um chiller que funcione nestas duas estações. Nesse sentido o chiller possuirá capacidade de aquecimento e arrefecimento.

No que diz respeito a marca, a escolha recaiu sobre a Daikin. Do catálogo da marca retira-se que o modelo EUWYN20KAZW respeita as limitações impostas pelas potências. Esta máquina garante as potências determinadas através do STE, como se pode verificar na tabela seguinte:

**Tabela 6.1 - Comparação das Potências necessárias com as Potências do Chiller**

Potências:	Máquina [ kW ]	Calculadas pelo STE [ kW ]
De Aquecimento	46,0	25,17
De Arrefecimento	40,0	38,80

Outras características do chiller estão presentes no catálogo, estando a tabela das características presente nos anexos.

### 6.2.2 Unidade de Tratamento de Ar - UTA

Como referido na descrição do sistema, para que as condições de insuflação sejam atingidas será utilizada uma UTA. Este aparelho é indicado para espaços que funcionem em *open-space*, uma vez que para todo o edifício as condições de insuflação são as mesmas.

Como se pode ver na figura 7.2, uma UTA está dividida em vários elementos, podendo ser configurada consoante as necessidades do espaço a climatizar. Para este caso particular a configuração da UTA será a seguinte:

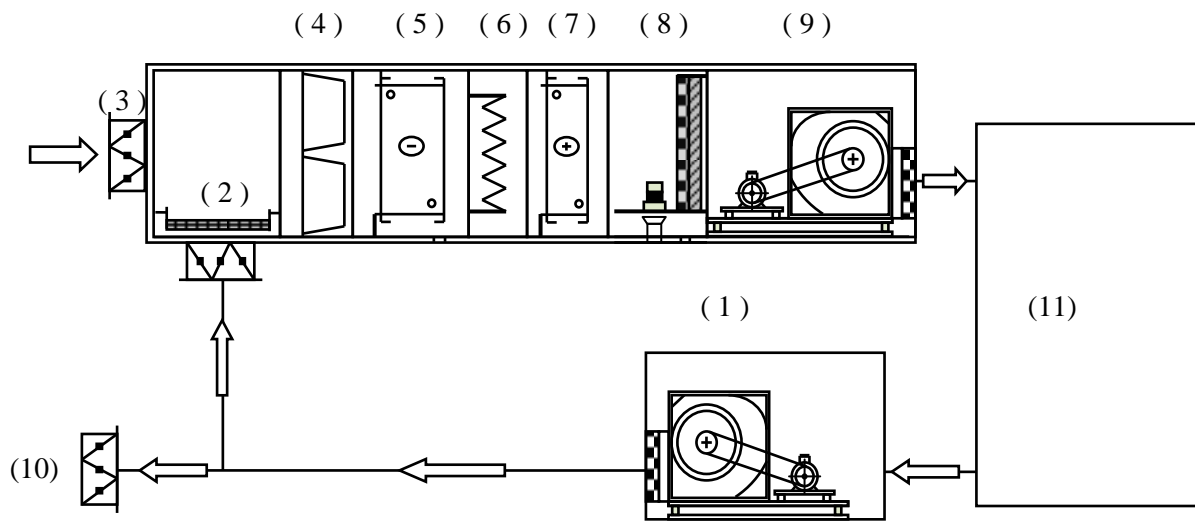


Figura 6.3 - Configuração da UTA

Em que:

- (1) ventilador de extracção;
- (2) pré-filtro que irá filtrar o ar de retorno ( proveniente do interior da sala );
- (3) entrada do ar proveniente do exterior;
- (4) filtro;
- (5) bateria de frio;
- (6) resistência eléctrica;
- (7) bateria de quente;
- (8) humidificador adiabático;
- (9) ventilador de insuflação;
- (10) extracção do ar para o exterior;
- (11) interior do espaço a climatizar;

São estes os elementos que irão provocar as alterações no ar para que as condições no interior do espaço sejam as desejadas pelo utilizador. Como se pode verificar na figura, para este caso considera-se também como parte anexa à UTA o ventilador de extracção, responsável pela extracção do ar do interior do espaço.

A UTA a escolher será da marca Trox® Technik, marca essa que se faz representar em Portugal através das marcas Contimetra e Sistimetra. Será então com base num catálogo desta marca que se seleccionarão os elementos que constituem a UTA.

### 6.2.2.1 Selecção dos Elementos da UTA

A primeira selecção necessária é a do tamanho da própria UTA. Essa escolha é realizada com base numa figura presente no catálogo e que poderá ser consultada nos anexos. Será com base no caudal a insuflar que a escolha é efectuada e resulta na escolha do tamanho 4.

#### 6.2.2.1.1 Bateria de Frio

Para a escolha da bateria de frio é necessário saber qual a temperatura a que o ar entra na bateria e qual o caudal. Esses dois parâmetros são conhecidos e as condições a que o ar sai da bateria de frio foram já as consideradas no capítulo anterior ( ponto BF ). Da escolha da bateria de frio também se retiram quais as temperaturas de circulação da água que será responsável pelas transformações a realizar no ar. Estas temperaturas são suportadas pelo chiller o que permite afirmar que o chiller é indicado para esta situação, no que diz respeito à situação de arrefecimento.

Em suma, a escolha da bateria de frio recaiu sobre o modelo de oito filas. Este modelo garante as condições pretendidas pelos utilizadores do espaço, mesmo na situação mais extrema assim como as condições já utilizadas nos cálculos psicrométricos. Do catálogo retira-se então que o modelo escolhido tem as seguintes características:

**Tabela 6.2 - Características da Bateria de Frio**

Caudal de ar [ m <sup>3</sup> /h ]	Entrada de ar [ C° / HR]	Entrada/Saída de água [ C° ]	Saída de ar [ C° / HR ]	ΔP do ar [ Pa ]
6700	34 / 43	7 / 12	13,0 / 97	121

### 6.2.2.1.2 Bateria de Calor

A escolha da bateria de calor é efectuada de forma análoga à escolha da bateria de frio. Os parâmetros a ter em conta são os mesmos e como tal a escolha recaiu sobre o modelo de duas filas. As características da bateria de calor estão presentes na tabela seguinte:

Tabela 6.3 - Características da Bateria de Calor

Caudal de ar [ m <sup>3</sup> /h ]	Entrada de ar [ C° ]	Entrada/Saída de água [ C° ]	Saída de ar [ C° / HR ]	ΔP do ar [ Pa ]
6700	0	85 / 70	32,9	27

Tal como se verifica para a bateria de frio também na bateria de calor é necessário verificar quais as condições de circulação da água que irá transmitir as trocas de calor ao ar. Também nesta situação se verifica que o chiller anteriormente escolhido é o indicado pois as temperaturas da água são atingíveis. Como tal, pode confirmar-se que o chiller escolhido é capaz de satisfazer as necessidades para esta situação.

### 6.2.2.1.3 Humidificador

Enquanto que para as baterias de frio e calor não era necessário efectuar qualquer tipo de cálculo para a sua selecção, o mesmo não acontece para o humidificador. O parâmetro de escolha deste elemento é a eficiência e como tal é necessário determinar qual a eficiência necessária para efectuar a transformação pretendida. Essa eficiência é calculada com base nas humidades específicas dos pontos referentes ao processo de humificação abaixo representados:

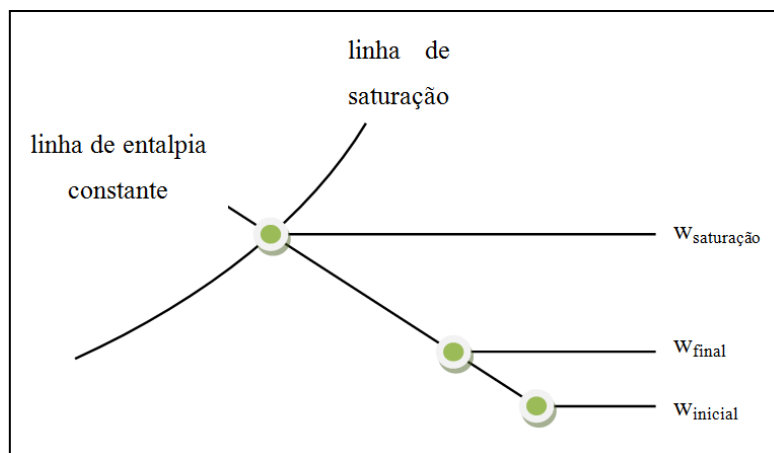


Figura 6.4 - Pontos necessários ao cálculo da eficiência do processo de humificação



em que:

$$w_{\text{saturação}} = 12,1 \text{ } g_{H_2O} / kg_{ar \text{ seco}}$$

$$w_{\text{final}} = 6,8 \text{ } g_{H_2O} / kg_{ar \text{ seco}}$$

$$w_{\text{inicial}} = 5,4 \text{ } g_{H_2O} / kg_{ar \text{ seco}}$$

Com estes valores e aplicando na seguinte fórmula, calcula-se a eficiência necessária para o processo de humificação.

$$\text{eficiência} = \left( \frac{w_{\text{final}} - w_{\text{inicial}}}{w_{\text{saturação}} - w_{\text{inicial}}} \right) \times 100 \% \quad 26)$$

$$\text{eficiência} = \frac{6,8 - 5,4}{12,1 - 5,4} \times 100 \%$$

$$\text{eficiência} = 21 \%$$

Com o parâmetro de escolha do humidificador já determinado é fácil realizar a escolha deste elemento da UTA. Do catálogo retira-se que o humidificador pretendido será de terá uma espessura de 75 mm e tem as seguintes características:

**Tabela 6.4 - Características do Humidificador**

Caudal de ar [ m <sup>3</sup> /h ]	Eficiência [ % ]	ΔP do ar [ Pa ]
6700	64	135

#### 6.2.2.1.4 Resistência Eléctrica

Como já referido anteriormente a resistência eléctrica terá de transmitir calor ao ar através do efeito de Joule. Como tal, será necessário uma resistência eléctrica capaz de transmitir 4,80 kW. Do catálogo retira-se que a resistência eléctrica a utilizar na UTA terá as seguintes características:

**Tabela 6.5 - Características da Resistência Eléctrica**

Potência [ kW ]	Número de Escalões	ΔP do ar [ Pa ]
6	2	1

#### 6.2.2.1.5 Pré-Filtro e Filtro

Para o caso do Edifício Base os filtros a considerar são:

Tabela 6.6 - Características dos Filtros

	Classe do Filtro	$\Delta P$ do ar [ Pa ]
Pré-Filtro	G4	150
Filtro	F7	300

#### 6.2.2.1.6 Ventiladores

Na UTA considerada para o Edifício Base são necessários dois ventiladores. Um deles é o responsável pela extracção e o outro é o responsável pela insuflação de ar para o interior da sala. Tal como aconteceu na escolha de outros elementos para a UTA em utilização é necessário definir um parâmetro de selecção. Para os ventiladores esse parâmetro será a pressão estática. Calcula-se então a pressão estática do ventilador somando a pressão disponível solicitada e as perdas de carga internas. Neste caso, estas últimas correspondem à soma da perda de carga provocada pelo pré-filtro com a perda de carga na própria caixa de ventilação em descarga livre e retirando este último valor do catálogo tem-se que para um ventilador RDH tem-se:

$$\Delta P_{cargas\ internas} = 37\ Pa$$

$$\Delta P_{Pré-Filtro} = 150\ Pa$$

A pressão disponível obtêm-se multiplicando o valor da pressão em cada difusor pelo número de difusores. Como será possível verificar existirão 24 difusores no espaço. A pressão em cada um será de 25 Pa, o que resulta em:

$$\Delta P_{disponível} = 25 \times 21\ Pa$$

$$\Delta P_{disponível} = 525\ Pa$$

Então a pressão estática do ventilador de retorno tomará o valor de:

$$Pressão\ Estática = 712\ Pa$$

Consultando o catálogo e tendo em conta o parâmetro calculado assim como o caudal de recirculação retira-se que o ventilador a utilizar será o RDH355 cujas características estão presentes na tabela 6.7:

**Tabela 6.7 - Características do Ventilador de Retorno**

Caudal de ar [ m <sup>3</sup> /h ]	Pressão Estática [ Pa ]	Potência [ kW ]	Vel. de Rotação [ rpm ]	Nível Sonoro dB [ A ]
6700	750	3,00	2132	89

Resta determinar qual o ventilador que irá insuflar o ar para o interior da sala. O cálculo do parâmetro de selecção efectua-se da mesma forma que no caso anterior. Então, somando todas as perdas de cargas dos elementos já considerados para a UTA e somando ainda este resultado à pressão disponível (600 Pa ) obtêm-se qual a pressão estática do ventilador de insuflação. Então:

$$Pressão\ Estática = \Delta P_{disponível} + \Delta P_{Elementos\ UTA} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{Elementos\ UTA} = & \Delta P_{Filtro} + \Delta P_{humidificador} + \Delta P_{bat.frio} \\ & + \Delta P_{bat.quente} + \Delta P_{resist.eléctr.} \end{aligned} \quad (28)$$

$$\Delta P_{Elementos\ UTA} = 300 + 135 + 121 + 27 + 1 \quad (Pa)$$

$$\Delta P_{Elementos\ UTA} = 584 \quad Pa$$

Substituindo os valores na equação 27) obtêm-se o valor para a pressão estática do ventilador de insuflação:

$$Pressão\ Estática = 525 + 584 \quad (Pa)$$

$$Pressão\ Estática = 1109 \quad Pa$$

Com este valor e como é sabido qual o caudal de insuflação retira-se do catálogo que o ventilador de insuflação a utilizar na UTA será o mesmo modelo do utilizado para o retorno, o RDH355, cujas características são:

**Tabela 6.8 - Características do Ventilador de Insuflação**

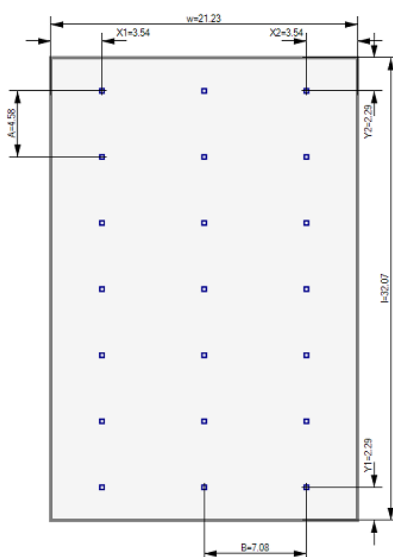
Caudal de ar [ m <sup>3</sup> /h ]	Pressão Estática [ Pa ]	Potência [ kW ]	Vel. de Rotação [ rpm ]	Nível Sonoro dB [ A ]
6700	1200	4,00	2515	91

Com a selecção dos ventiladores termina o processo de selecção dos elementos constituintes da UTA.

### 6.2.3 Difusores

Depois de seleccionado o equipamento responsável pelas alterações necessárias das condições do ar é necessário seleccionar o equipamento responsável pelo transporte e eficiente distribuição desse mesmo ar no interior do espaço. Para a selecção dos difusores foi utilizado um software indicado para o efeito, fornecido de forma gratuita pela marca Trox® Technik. Esse software tem o nome de "*Easy Product Finder*" e a sua utilização é bastante intuitiva. Este software revelou-se uma ferramenta bastante útil pois com a introdução das características do espaço e das condições de insuflação é devolvido ao utilizador uma série de soluções capazes de efectuar com eficiência a insuflação e distribuição do ar no espaço. Uma vez que as condições não são constantes, uma das preocupações foi a de escolher uma solução que fosse capaz de actuar com igual eficiência durante todo o ano.

Este software não indica apenas quais os difusores indicados mas sim qual a melhor disposição destes. Na figura seguinte encontra-se representada a solução indicada, quanto à disposição:



**Figura 6.5- Disposição dos Difusores [Easy Product Finder ]**

Claro está que esta disposição não é eficiente para qualquer tipo de difusor, sendo que o modelo indicado como parte de uma solução capaz é o modelo DLQ-AK-M.



Figura 6.6 - Difusor utilizado [Catálogo Trox® Technik ]

#### 6.2.4 Condutas

Após a distribuição dos difusores ser conhecida é possível conceber a rede de condutas que irá transportar o ar desde a UTA até aos difusores. A configuração da rede pretende-se o mais simples possível e para o caso do Edifício Base a configuração da rede de condutas de insuflação é a seguinte:

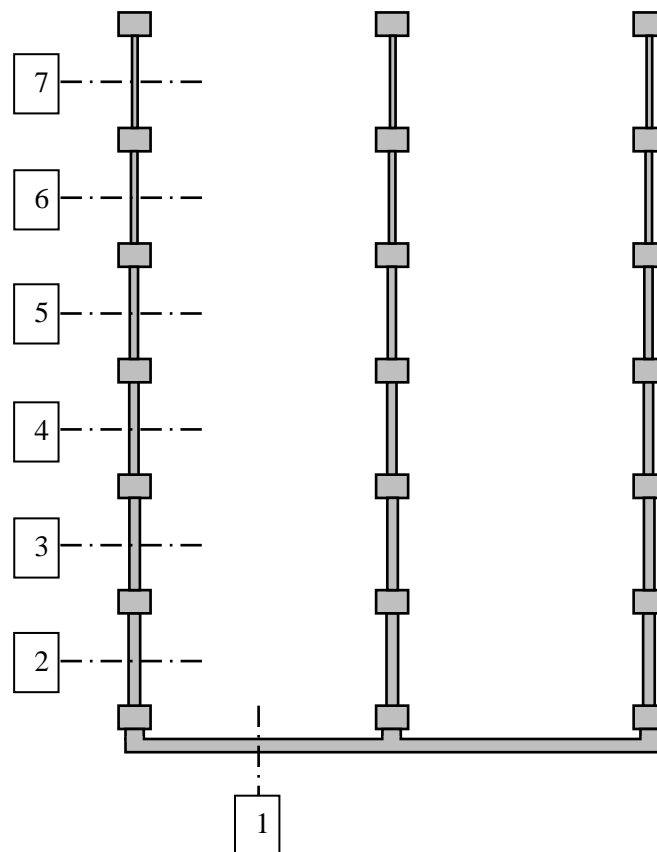


Figura 6.7 - Configuração da rede de condutas de insuflação e numeração das secções

Tal como se pode verificar na figura, as secções estão já numeradas. Esta numeração serve para a identificação de cada secção no dimensionamento.

O dimensionamento das condutas será apenas exemplificativo, não levando em conta as perdas de carga que num caso real necessitam ser contabilizadas. Neste caso apenas será tido em conta o caudal e a velocidade máxima a que o ar poderá percorrer as condutas para que o barulho ruído pelo deslocamento não exceda os valores legais.

Do Manual Carrier [9] retira-se que, para um espaço ocupado por escritórios e para as ramificações das condutas o valor para a velocidade máxima será de 8,13 m/s. Neste caso a velocidade máxima admitida será de 6 m/s. Como já é conhecido o caudal máximo a insuflar para o interior do espaço será de 6035 m<sup>3</sup>/h, o que resulta num caudal insuflado por cada difusor de:

$$\dot{m}_{difusor} = \frac{6035}{21} \quad (m^3/h)$$

$$\dot{m}_{difusor} = 287,4 \quad m^3/h$$

Desta forma, de maneira a garantir 6 m/s em todas as secções da conduta obtêm-se os seguintes valores para as diferentes secções:

**Tabela 6.9 - Dimensionamento das Condutas**

Nº da Secção	Caudal [ m <sup>3</sup> / h ]	Área Necessária [ m <sup>2</sup> ]
7	287,4	0,013
6	574,8	0,027
5	862,1	0,040
4	1149,5	0,053
3	1436,9	0,067
2	1724,3	0,080
1	2011,7	0,093

Desta forma consegue-se garantir que o ruído provocado pelo deslocamento não provoca qualquer incómodo nos ocupantes do espaço. Resta apenas determinar se as condutas terão secção quadrada ou circular e uma vez que já é conhecida a área necessária facilmente se chega às dimensões para cada tipo de conduta.

### **6.3 Controlo e Comando**

Como qualquer sistema de climatização, também o considerado para o Edifício Base necessita ter um sistema que controle e comande de forma eficiente, de maneira a não ser posto em causa o bom funcionamento de todo o sistema. O grau de importância do sistema de controlo é tão ou mais importante do que o referente a qualquer outro elemento do sistema de climatização completo.

Uma correcta climatização do espaço requer uma leitura sem falhas das condições em que o ar se encontra nos diversos pontos ao longo de todo o caminho que percorre desde que entra no sistema até que sai. Esta leitura é efectuada por intermédio de sondas colocadas em diversas localizações e enviada para o controlador. Do controlador saem as informações necessárias para o sistema de gestão para que este decida qual o tipo de tratamento a aplicar ao ar. As diversas sondas que constituem o sistema de controlo não são somente para leitura de temperaturas e humidades. Também o caudal tem de ser controlado assim como a pressão, garantindo desta forma que nenhum elemento está sujeito a esforços excessivos assim como forma de detecção de qualquer tipo de avaria.

Sendo as sondas os instrumentos utilizados para efectuar a leitura dos vários parâmetros que definem as condições do ar ( temperatura, humidade, caudal ) é necessária a existência de um instrumento que irá receber os sinais enviados pelas sondas. Esse instrumento é o controlador e por ele irão passar todas as informações que garantem a correcta climatização do espaço. Após a análise dos dados, o sistema de gestão envia sinais para o controlador irá actuar sobre o elemento da UTA responsável pelas alterações necessárias às condições do ar. Por este motivo é de extrema importância que o sistema de controlo efectue sem falhas o seu trabalho, pois não é difícil perceber quais as consequências de uma leitura errada ( por exemplo, insuflação de ar em condições erradas podendo colocar em risco a saúde dos ocupantes do espaço ).

[5] [12] [13]

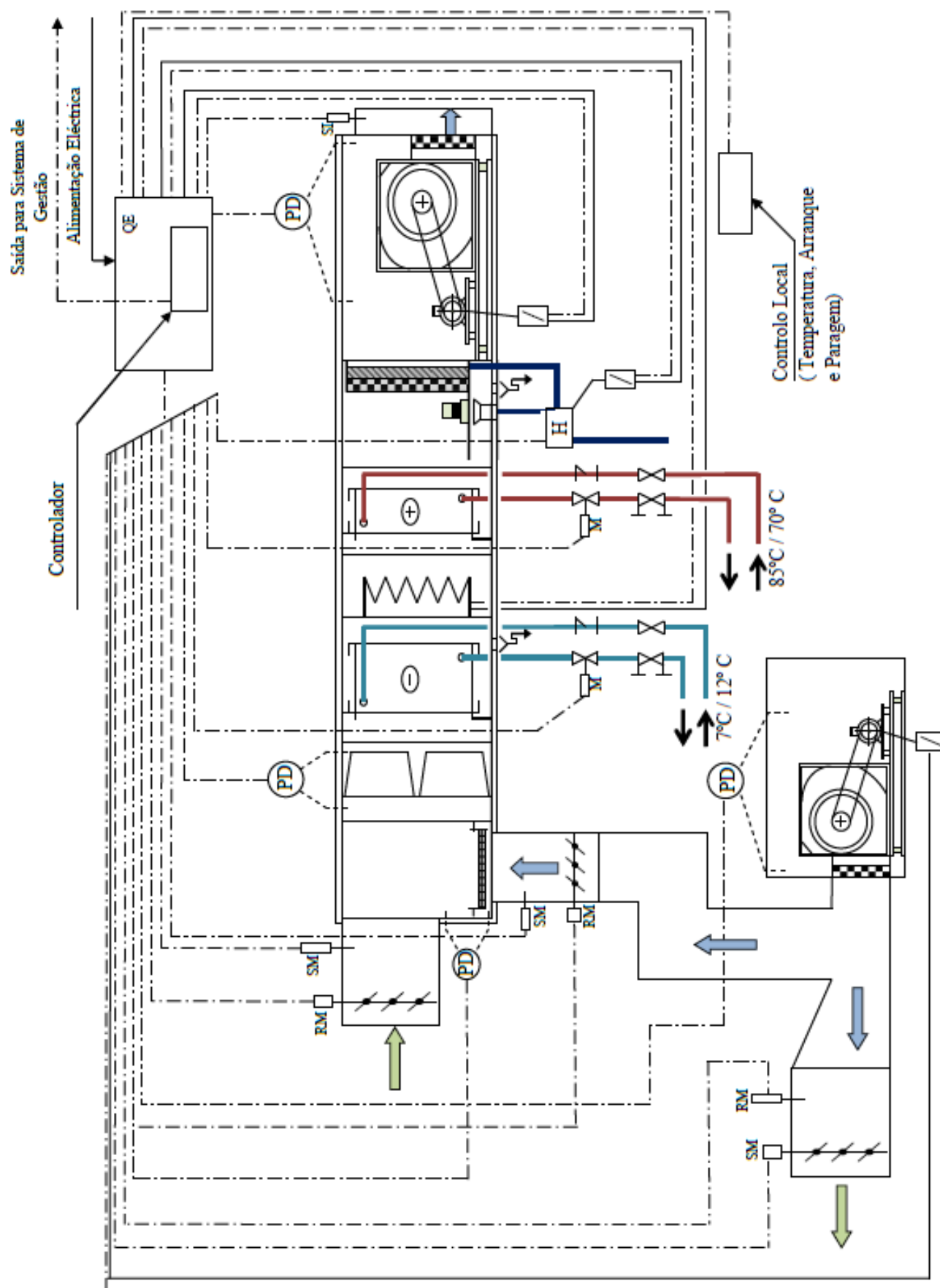


Figura 6.8- Esquema de Comando da UTA



Como pode ser visto na figura 6.8 todos os elementos do sistema de controlo estão ligados ao controlador. Por ele passam todas as informações e decisões que garantem que o espaço se encontrará nas condições determinadas pelos utilizadores do espaço.

Pode também ser visto no esquema da figura 6.8 as ligações das baterias de calor e de frio. Nos tubos de passagem da água que efectuará com o ar as trocas de calor necessárias estão instaladas algumas válvulas ( sinalizadas no esquema com a letra M - Válvulas motorizadas de duas vias tipo modelante) que controlarão qual o caudal de água que percorrerá as filas da bateria, sendo estas válvulas actuadas pelo controlador.

O processo de humificação não é diferente de qualquer outro processo de transformação do ar que ocorre no interior da UTA e também ele é actuado pelo controlador. O módulo de controlo do humidificador está representado no esquema com a letra H. A água que circula neste elemento é impreterivelmente água tratada, pois irá ser inspirada pelos ocupantes do espaço, não podendo em caso algum ser água não-tratada.

Tal como o restante processo de escolha do equipamento também no caso do sistema de controlo este é efectuado de forma meramente académica, não sendo alvo de um estudo tão atento e minucioso quanto aquele que seria efectuado num caso real. Desta forma pretende demonstrar-se o tipo de constituintes de um sistema de climatização e qual o método que guia um profissional nesta área. No entanto, para o tipo de estudo pretendido para esta tese não seria viável um estudo real para a escolha do equipamento.



## 7 Conclusões

Com a execução deste estudo pretendia obter-se uma ferramenta útil ainda na fase da concepção de um edifício. Com o estudo energético efectuado, quer ao Edifício Base quer a todas as alterações a este edifício conseguiu obter-se uma série de tendências seguidas pelas respostas obtidas através do software RCCTE-STE. Desta forma, foi possível identificar qual o rumo a seguir desde a fase inicial, para que o edifício seja energeticamente eficiente.

Depois de analisadas todas as alterações efectuadas ao Edifício Base, verifica-se que:

- aquela que mais impacto teve na diminuição da factura energética foi a diminuição do pé direito. Com este resultado pode afirmar-se que é do total interesse do proprietário de um espaço que este não possua um pé direito excessivamente alto, uma vez que o volume interior e as áreas de paredes responsáveis pelas trocas de calor serão superiores, originando um aumento desnecessário das necessidades energéticas;
- a colocação de vãos envidraçados segundo a orientação Norte é sempre desaconselhável do ponto de vista energético. Os ganhos solares são mínimos segundo esta direcção e as trocas de calor com o exterior na área de vidro ocorrem de forma muito mais intensa dado que o coeficiente de transmissão térmica deste elemento é aproximadamente sete vezes maior do que o das paredes ( com base nos valores do Edifício Base );
- a colocação de clarabóia num edifício não é energeticamente eficiente. Apesar de se conseguir um aproveitamento da iluminação natural, o aumento verificado nas Necessidades Energéticas não permite uma poupança na factura da energia;
- um edifício funciona como um acumulador de calor, ou seja, a inércia térmica é uma característica do edifício que permite reduzir os consumos energéticos. Apesar de um maior custo na fase de construção, pois uma inércia térmica superior implica um maior volume de material, a poupança obtida durante o período de vida útil do edifício é motivo para um estudo custos vs poupança;
- a localização de um edifício é uma característica deste, sendo que esta propriedade deve ser tida em conta desde a fase inicial;

Todas as respostas foram obtidas através do software RCCTE-STE. Pode considerar-se esta ferramenta como fiável, no entanto, é impossível não referir que no decorrer deste estudo se verificou por mais do que uma vez a alteração dos resultados obtidos ( Necessidades Energéticas e Potências Térmicas ), sem que para este fenómeno se encontrasse qualquer tipo de

explicação. Como método de resolução deste problema nada mais restou senão eliminar o edifício em estudo e criar outro igual.

Foi também verificada a capacidade que o software possui de determinar as potências térmicas e desta forma limitá-las, obedecendo aos princípios do RSECE. Através do cálculo psicrométrico para as situações de cargas máximas nas duas estações (Aquecimento e Arrefecimento) verificou-se que é perfeitamente aceitável o valor determinado pelo STE. Seria no entanto interessante a obtenção da evolução das cargas existentes no edifício bem como a possibilidade de escolha da situação de recirculação de ar. No quadro de ventilação presente no programa é possível verificar que apenas o caudal mínimo de ar novo é insuflado, quando na verdade essa não seria a solução mais eficaz para a climatização do espaço.

Na fase de escolha do equipamento foi interessante a concepção de um sistema que seria capaz de climatizar de forma correcta o Edifício Base. Como proposta de trabalho a realizar no futuro, seria interessante a aplicação de um sistema de Águas Quentes Sanitárias e o recurso às Energias Renováveis e com essa solução efectuar um estudo de Certificação Energética ao Edifício.

# Bibliografia

- [1] Decreto de Lei nº 80/2006 - Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios
- [2] Decreto de Lei nº 79/2006 - Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios
- [3] Maldonado, Eduardo (E.); Gonçalves, Hélder (E.); “Manual de apoio à aplicação do RCCTE”; INETI; 2006.
- [4] Maldonado, Eduardo (E.); “Manual de aplicação do RSECE”; Ordem dos Engenheiros; 2001.
- [5] Canha da Piedade ( A.), Moret Rodrigues ( A.) e Luís F. Roriz, “Climatização em Edifícios – Envolvente e Comportamento Térmico”. 2ª Edição, Edições ORION.
- [6] Luís F. Roriz, " Climatização - Conceção, instalação e condução de Sistemas", 2ª Edição, Edições Orion, 2006.
- [7] Moret ( A. ), Canha da Piedade ( A. ), Marta Braga ( A. ), "Térmica dos Edifícios", Edições Orion, 2009
- [8] Carlos A. Pina dos Santos e Luís Matias “ITE 50 – Coeficientes de transmissão Térmica de elementos da envolvente dos Edifícios – Laboratório Nacional de Engenharia Civil”. Versão actualizada 2006.
- [9] Carrier Corporation, "Handbook of Air Conditioning and System Design", McGraw Hill, 1965
- [10] Incropera (Frank P.) e outros, " Fundamentals of Heat and Mass Transfer", Sixth Edition, Wiley, 2006;
- [11] Catálogo Geral 2010, DAIKIN;
- [12] Catálogo Trox® Technik;
- [13] K. Wang ( Shan ), " Handbook of Air Conditioning and Refrigeration", 2nd Edition, McGraw-Hill, 2000
- [14] ASHRAE, "HVAC Systems and Equipment", 2001
- [15] [www.ceeta.pt](http://www.ceeta.pt);
- [16] <http://solaresds.wordpress.com/rali-sola> ( Exposição Solar )
- [17] Ramalho (Álvaro F) e Francisco (Jaime M. P.), "Manual do Utilizador RCCTE-STE", INETI, 2007
- [18] [www.refrigeracao.net](http://www.refrigeracao.net)
- [19] Martinelli Jr. (Professor L.C), "Psicrometria", Documento elaborado no âmbito da cadeira de Climatização e Refrigeração da UNIJUI, Brasil

- [20] Pizzetti, Carlos; “Acondicionamiento del aire y refrigeracion – teoria y cálculo de las instalaciones”. Editorial Interciencia, Espanha, 1970;

## Anexos

**Anexo I** - Tabela com a distribuição dos concelhos de Portugal, considerados neste estudo, segundo as zonas climáticas e correspondentes dados climáticos de referência

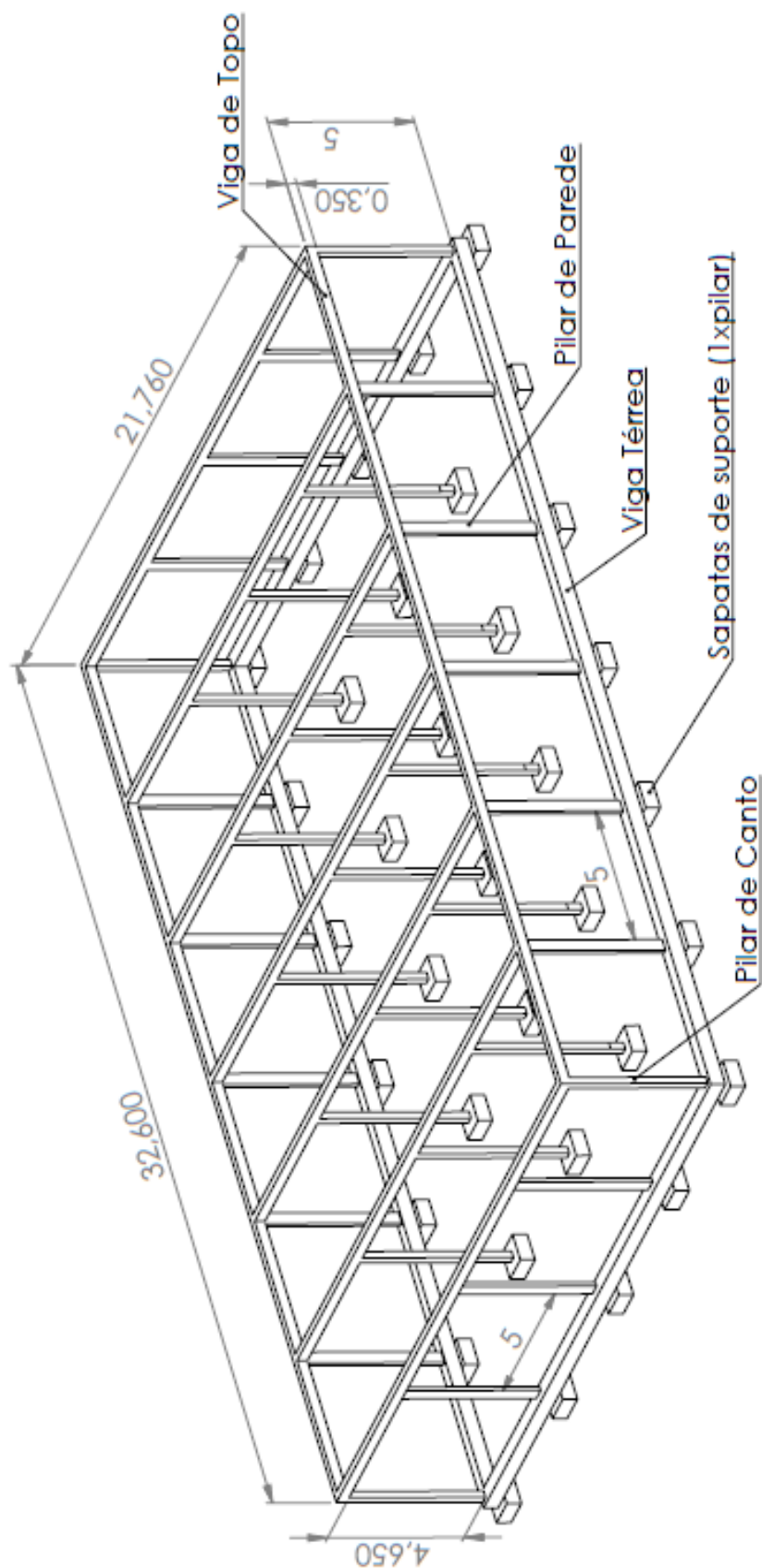
Concelho	Zona Climática de Inverno	Número de graus-dias (GD) (°C.dias)	Duração da estação de aquecimento (meses)	Zona Climática de Verão	Temperatura externa do projecto (°C)	Amplitude Térmica (°C)
Almada	I <sub>1</sub>	1160	5,3	V <sub>1</sub>	31	10
Matosinhos	I <sub>2</sub>	1580	6,7	V <sub>1</sub>	29	9
Melgaço	I <sub>3</sub>	2770	7,7	V <sub>1</sub>	30	14
Silves	I <sub>1</sub>	1180	5,7	V <sub>2</sub>	33	14
Nelas	I <sub>2</sub>	1770	7,3	V <sub>2</sub>	33	15
Aguiar da Beira	I <sub>3</sub>	2430	7,3	V <sub>2</sub>	32	13
Ponte de Sôr	I <sub>1</sub>	1440	6	V <sub>3</sub>	36	17
Abrantes	I <sub>2</sub>	1630	6	V <sub>3</sub>	36	17
Baião	I <sub>3</sub>	2150	6,7	V <sub>3</sub>	34	13

adaptado de [1]





Anexo II - Estrutura de Betão do Edifício Base



No interior estão 15 pilares (25x25 cm)

As dimensões das sapatas de suporte encontram-se no desenho de pormenor de ligação pilar/viga térrea.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:	
SURFACE FINISH:		LINEAR:	
TOLERANCES:		ANGULAR:	
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE
CHK'D			
APP'VD			
MFG			
Q.A			

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

DETAIL AND BREAK SHARP EDGES

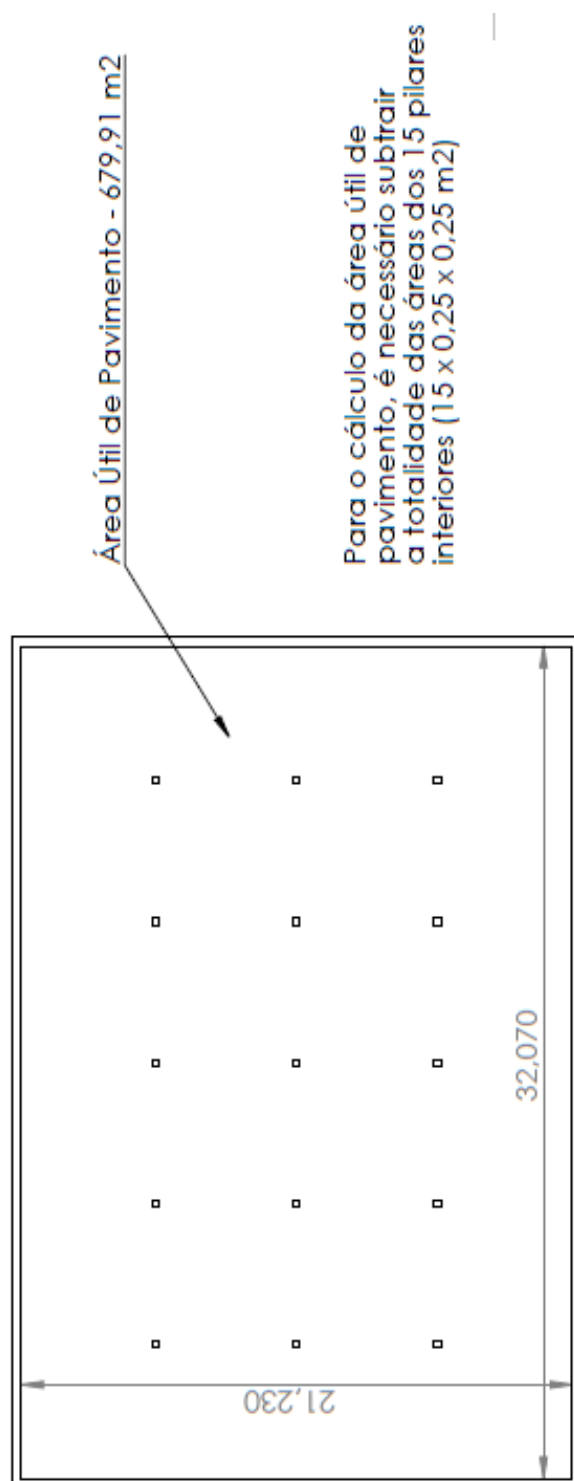
TITLE:

DWG NO.

estrutura betão



### Anexo III – Planta do Edifício Base (Determinação da Área Útil)

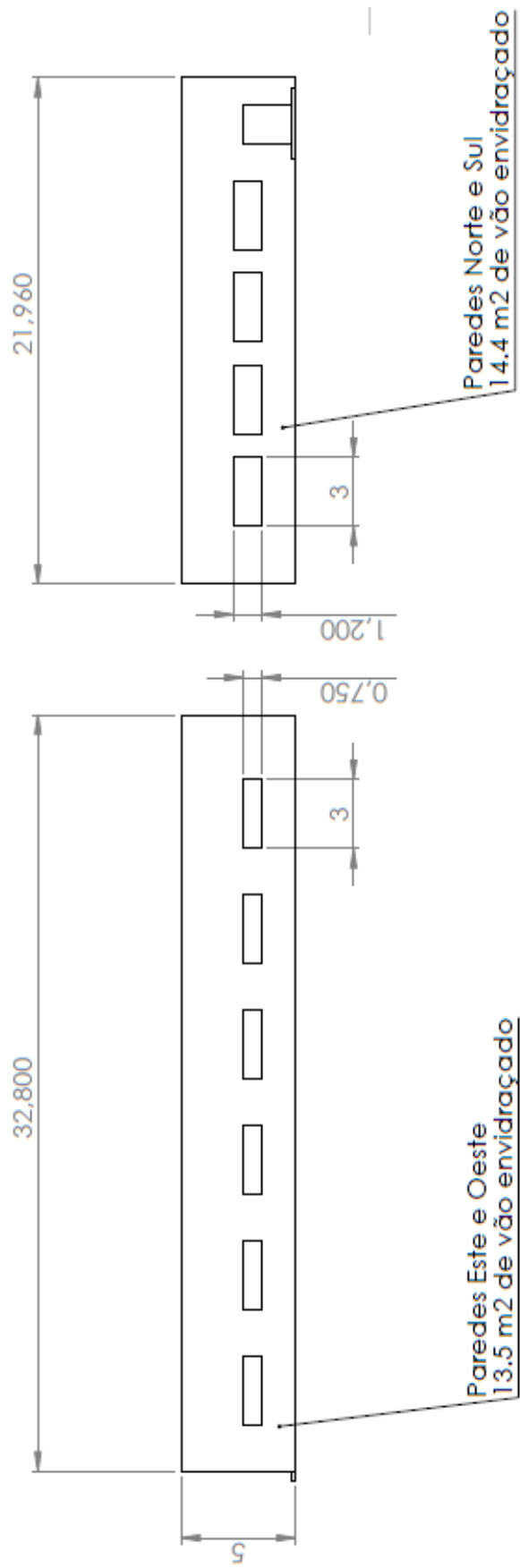


$$A_p (\text{área útil de pavimento}) = (21,23 \times 32,07) - (15 \times (0,25 \times 0,25))$$

$$A_p (\text{área útil de pavimento}) = 697,909 \text{ m}^2$$

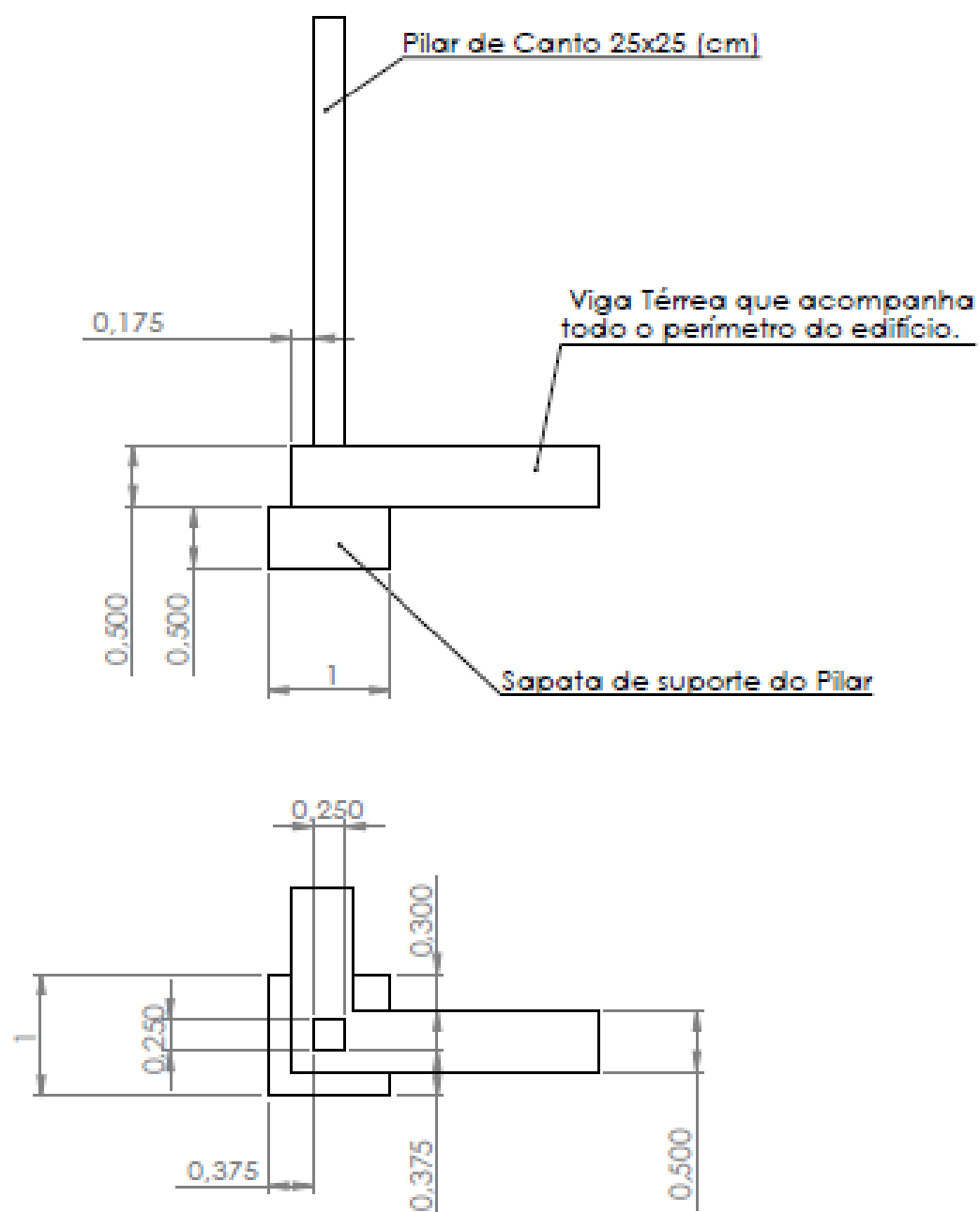


**Anexo IV** – Fachadas do Edifício Base





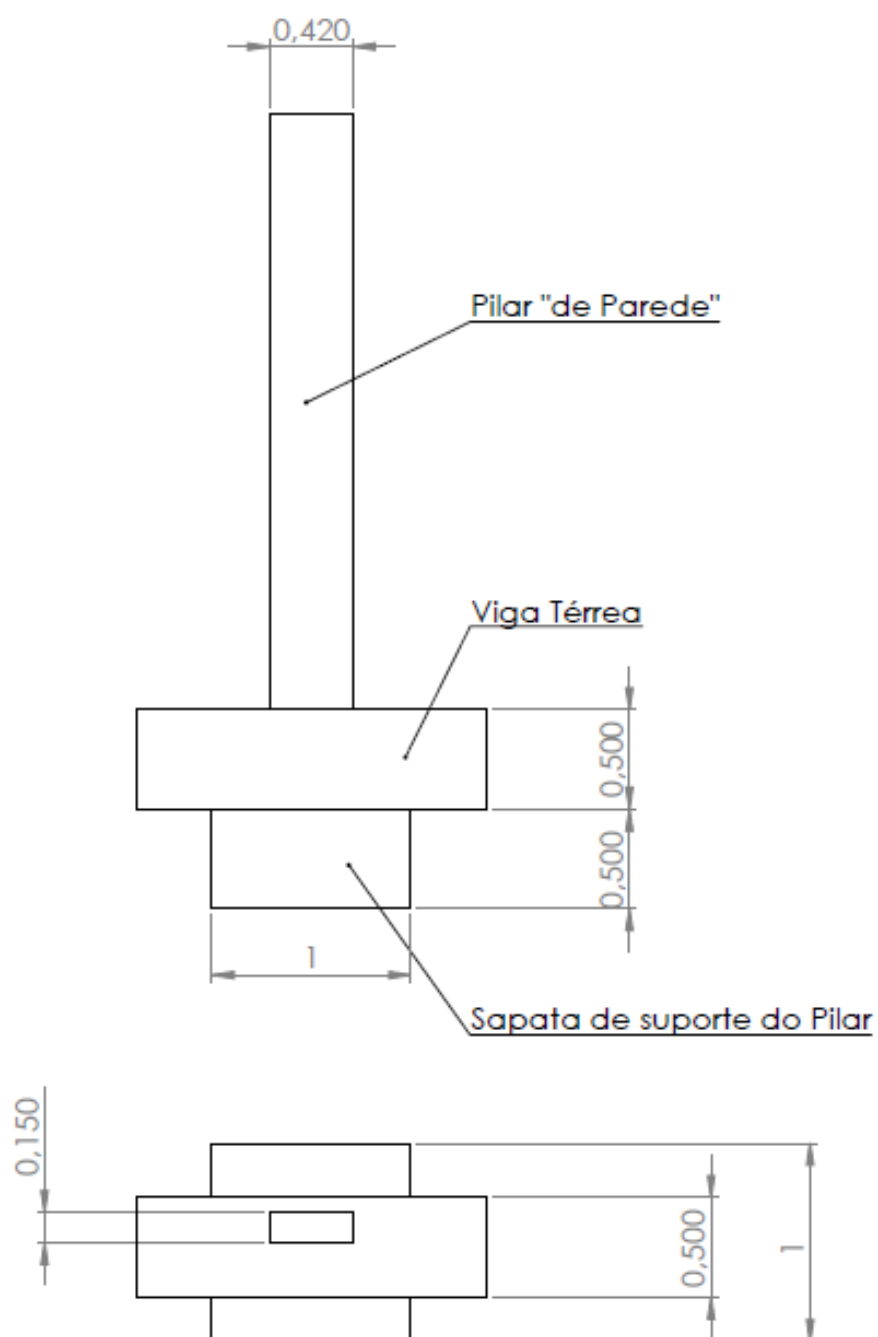
## Anexo V – Pormenor do pilar de Canto





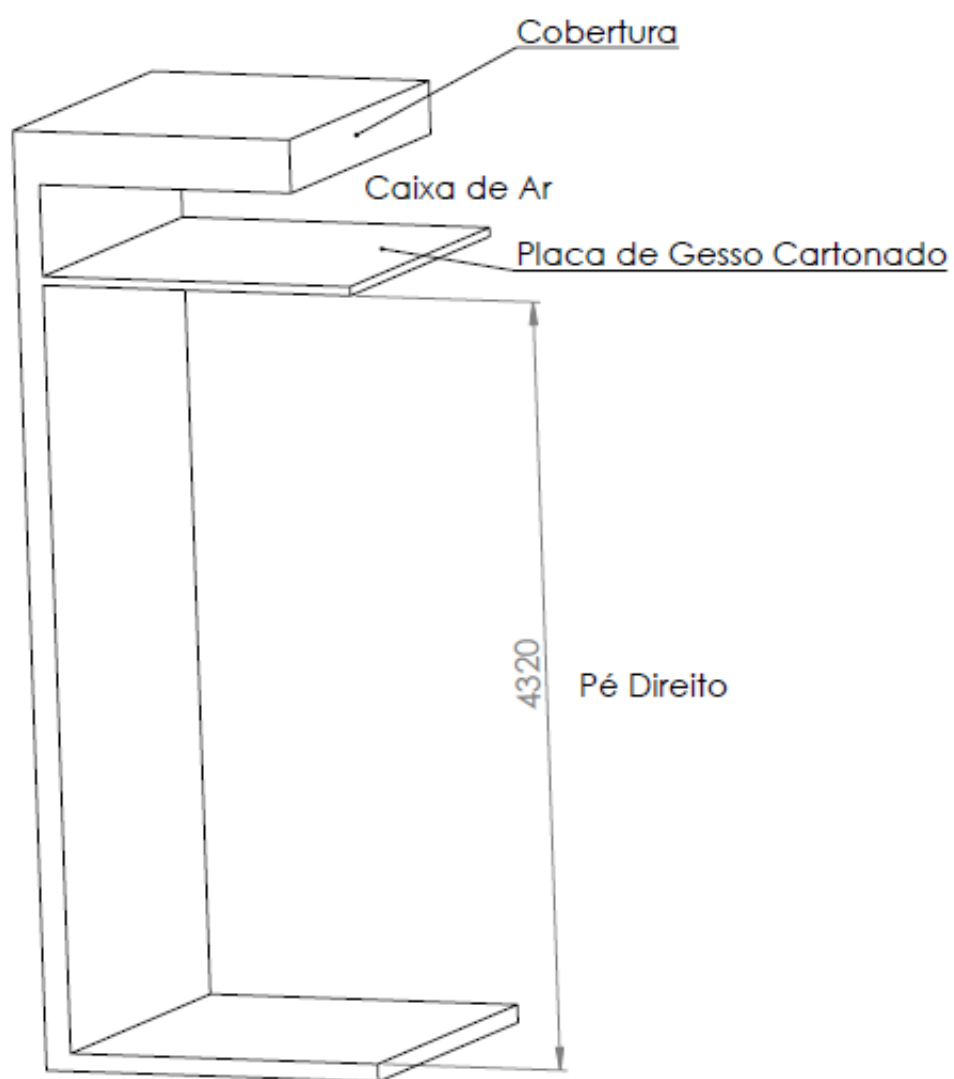


**Anexo VI** – Pormenor de ligação Viga Térrea – Pilar de Parede





## Anexo VII – Pormenor do Pé Direito do Edifício Base





## Anexo VIII a) – Determinação do Coeficiente U dos vários elementos do Edifício Base

### Paredes Exteriores

Composição	d* (m)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	λ (W/m.°C)
R <sub>si</sub>	-	0,130	-
Reboco Interior	0,015	0,043	0,350
Pano de Alvenaria Tijolo 15	0,150	0,390	-
Isolamento XPS	0,060	1,622	0,037
Pano de Alvenaria Tijolo 11	0,110	0,270	-
Reboco Exterior	0,015	0,043	0,350
R <sub>se</sub>	-	0,040	-
R <sub>T</sub> [ m <sup>2</sup> .°C/W ]			2,54
U [ W/ m <sup>2</sup> .°C ]			0,39

### Pontes Térmicas Planas

Composição	d* (m)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	λ (W/m.°C)
R <sub>si</sub>	-	0,130	-
Reboco Interior	0,015	0,0429	0,350
Betão	0,150	0,0750	2,000
Isolamento XPS	0,060	1,6216	0,037
Pano de Alvenaria Tijolo 11	0,110	0,2700	-
Reboco Exterior	0,015	0,0429	0,350
R <sub>se</sub>	-	0,040	-
R <sub>T</sub> [ m <sup>2</sup> .°C/W ]			2,22
U [ W/ m <sup>2</sup> .°C ]			0,45



## **Anexo VIII b) - Determinação do Coeficiente U dos vários elementos do Edifício Base**

### Cobertura – Fluxo Ascendente

Composição	d* (m)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	λ (W/m.°C)
R <sub>se</sub>	-	0,040	-
Brita	0,02	0,010	2
Isolante	0,06	1,622	0,037
Betão	0,15	0,075	2
Caixa de ar	0,5	0,160	
Tecto falso	0,02	0,286	0,07
R <sub>si</sub>	-	0,100	-
R <sub>T</sub> [ m <sup>2</sup> .°C/W ]			2,230
U [ W/ m <sup>2</sup> .°C ]			0,436

### Cobertura – Fluxo Descendente

Composição	d* (m)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	λ (W/m.°C)
R <sub>se</sub>	-	0,040	-
Brita	0,02	0,010	2,000
Isolante	0,06	1,622	0,037
Betão	0,15	0,075	2,000
Caixa de ar	0,50	0,160	-
Tecto falso	0,02	0,286	0,070
R <sub>si</sub>	-	0,170	-
R <sub>T</sub> [ m <sup>2</sup> .°C/W ]			2,430
U [ W/ m <sup>2</sup> .°C ]			0,411





## Anexo VIII c) - Determinação do Coeficiente U dos vários elementos do Edifício Base

### Pavimento

Composição	d* (m)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	λ (W/m.°C)
Chão Final	0,0075	0,038	0,200
Argamassa	0,04	0,050	0,800
Areia	0,04	0,020	2,000
Isolante	0,06	1,622	0,037
Laje Betão	0,15	0,075	2,000
R <sub>T</sub> [ m <sup>2</sup> .°C/W ]			1,804
U [ W/ m <sup>2</sup> .°C ]			0,554



## **Anexo IX a) – Quantificação da Massa Superficial Total e Útil**

### Paredes Exteriores

Composição	R (kg/m <sup>3</sup> )	Mt (kg/m <sup>2</sup> )	Mi (kg/m <sup>2</sup> )
Reboco Interior	750	11,25	11,25
Pano de Alvenaria Tijolo 15	-	113,00	113,00
Isolamento XPS	30	0,60	Exterior ao Isolamento
Pano de Alvenaria Tijolo 11	-	83,00	
Reboco Exterior	750	11,25	
Valores Totais		219,10	124,25

### Pontes Térmicas Planas

Composição	R (kg/m <sup>3</sup> )	Mt (kg/m <sup>2</sup> )	Mi (kg/m <sup>2</sup> )
Reboco Interior	750	11,25	11,25
Betão	2350	352,50	352,50
Isolamento XPS	30	0,60	Exterior ao Isolamento
Pano de Alvenaria Tijolo 11	-	83,00	
Reboco Exterior	750	11,25	
Valores Totais		458,6	363,75



## **Anexo IX b) - Quantificação da Massa Superficial Total e Útil**

### Cobertura

Composição	R (kg/m <sup>3</sup> )	Mt (kg/m <sup>2</sup> )	Mi (kg/m <sup>2</sup> )
Brita	1800	36	Exterior ao Isolamento
Isolante	30	1,8	
Betão	2350	352,5	352,5
Caixa de ar	1,23	0,615	0,615
Tecto falso	250	5	5
Valores Totais		395,92	358,12

### Pavimento

Composição	R (kg/m <sup>3</sup> )	Mt (kg/m <sup>2</sup> )	Mi (kg/m <sup>2</sup> )
Chão Final	1050	7,875	7,875
Argamassa	1600	64	64
Areia	2000	80	80
Isolante	30	1,8	Exterior ao Isolamento
Laje Betão	2350	352,5	
Valores Totais		395,92	358,12

### Pilares Interiores

Composição	R (kg/m <sup>3</sup> )	Mt (kg/m <sup>2</sup> )	Mi (kg/m <sup>2</sup> )
reboco exterior	750	11,25	11,25
betão (pilar)	2350	587,50	587,50
reboco interior	750	11,25	11,25
Valores Totais		610,00	610,00



## Anexo X - Quantificação da Inércia Térmica

Elementos de Construção	Mi (kg/m <sup>2</sup> )	Msi (kg/m <sup>2</sup> )	Si (m <sup>2</sup> )	Factor de Correcção (r)	Msi x Si x r (kg)
Cobertura Exterior	358,95	150	697,909	1	104686,35
Paredes Exteriores	124,25	124,25	375,68	1	46678,24
Paredes Interiores	610	150	16,2	1	2430
Pavimento	75	75	697,909	1	52343,175
Cobertura Exterior	358,95	150	697,909	1	104686,35
Total					206137,765

/

Área Útil do Pavimento 697,909

=

295,36

Classe de Inércia Térmica MÉDIA



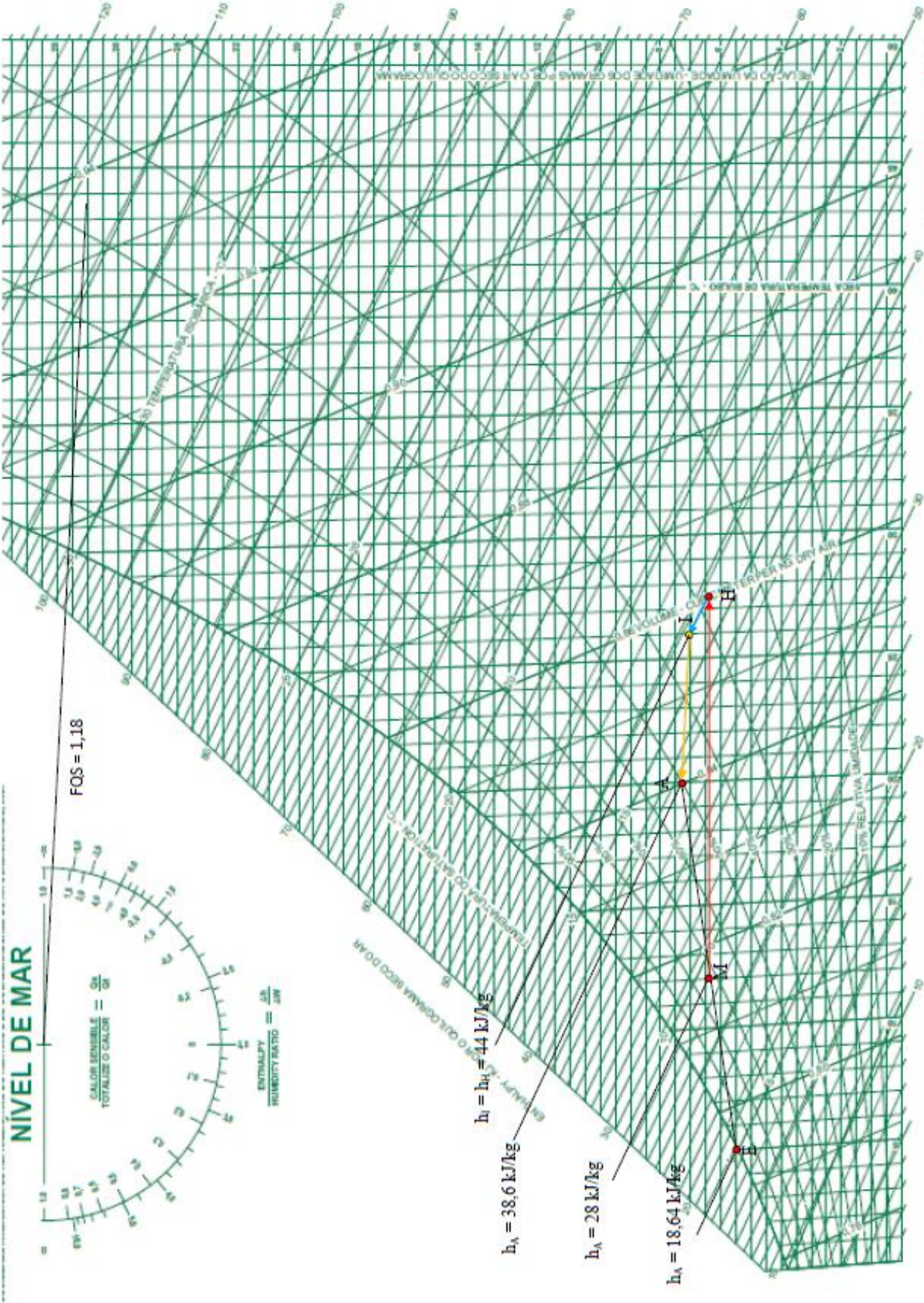


**Anexo XI** – Factores Solares dos Vãos Envidraçados (Valores utilizados no RCCTE-STE)

Orientação do Vão Envidraçado	X <sub>j</sub>	F <sub>g</sub>	F <sub>s</sub> Inv.	F <sub>s</sub> Ver.	F <sub>w</sub> Inv.	F <sub>w</sub> Ver.	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	g Vidro	g Inv.	G Ver.
Norte	0,27	0,7	0,9	0,9	0,9	0,8	2,7	0,63	0,63	0,25
Sul	1	0,7	0,9	0,9	0,9	0,75	2,7	0,63	0,63	0,25
Este	0,56	0,7	0,9	0,9	0,9	0,85	2,7	0,63	0,63	0,25
Oeste	0,56	0,7	0,9	0,9	0,9	0,85	2,7	0,63	0,63	0,25



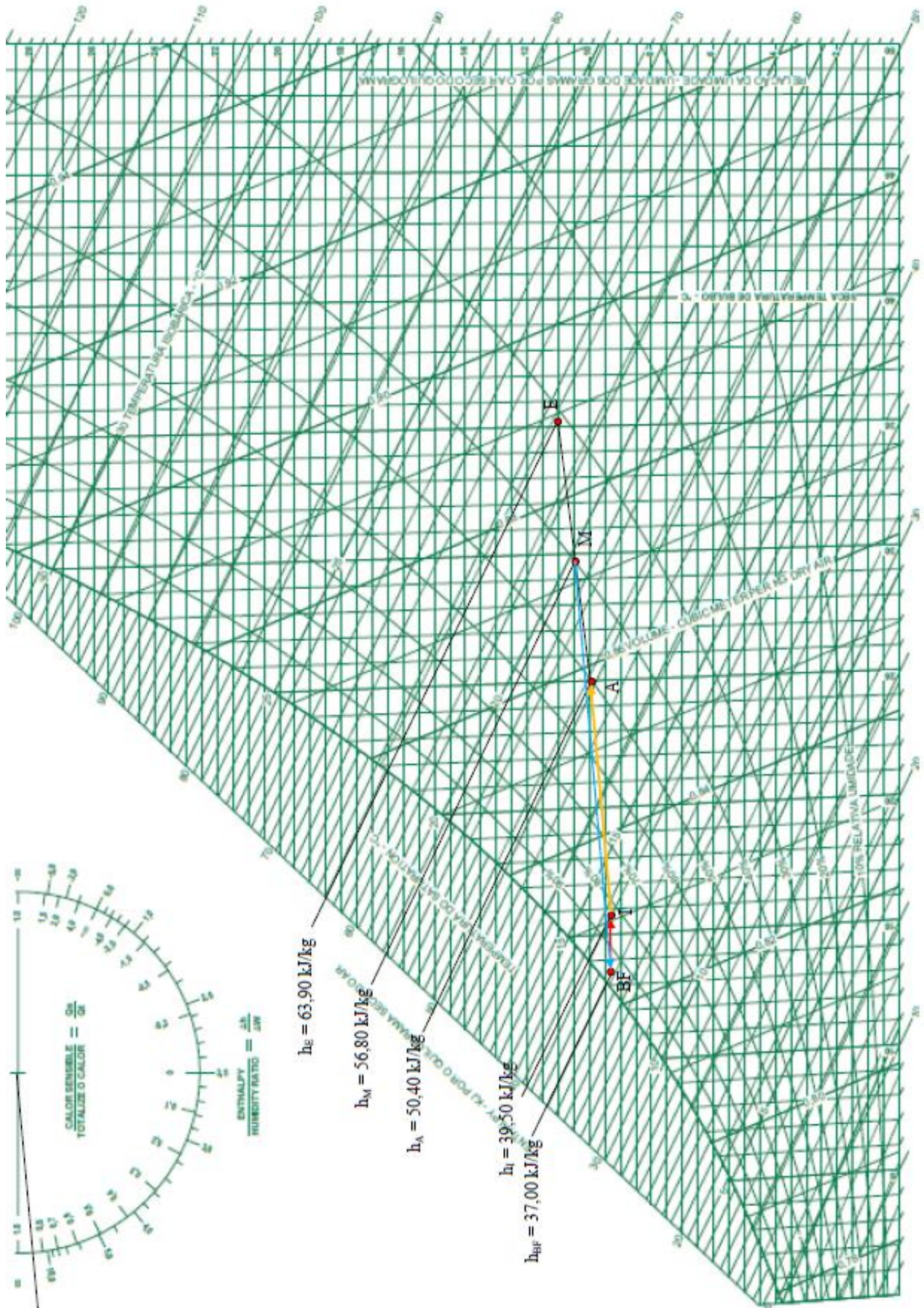
Anexo XII - Diagrama Psicrométrico para a Estação de Aquecimento







### Anexo XIII - Diagrama Psicrométrico para a Estação de Arrefecimento





## Anexo IV - Quadro de Ventilação retirado do software STE

**UTILIZAÇÃO** ▶ ventilação

Perfil  
☒ Pré-Definido    ☐ Definido pelo Utilizador

3490 Caudal mínimo de ar novo [m3/h]    Recalcular    Quadro  
 2713,47 Infiltração de ar nos períodos sem ocupação [m3/h]

Segunda a Sexta			Sábado			Domingo e Feriados			Padrão de ocupação [%]	Caudal de ar novo [m3/h.m2]
0:00	3,9	5,0	12:00	0:00	3,9	3,9	12:00	0:00		
1:00	3,9	5,0	13:00	1:00	3,9	3,9	13:00	1:00	3,9	3,9
2:00	3,9	5,0	14:00	2:00	3,9	3,9	14:00	2:00	3,9	3,9
3:00	3,9	5,0	15:00	3:00	3,9	3,9	15:00	3:00	3,9	3,9
4:00	3,9	5,0	16:00	4:00	3,9	3,9	16:00	4:00	3,9	3,9
5:00	3,9	5,0	17:00	5:00	3,9	3,9	17:00	5:00	3,9	3,9
6:00	5,0	5,0	18:00	6:00	3,9	3,9	18:00	6:00	3,9	3,9
7:00	5,0	5,0	19:00	7:00	3,9	3,9	19:00	7:00	3,9	3,9
8:00	5,0	3,9	20:00	8:00	3,9	3,9	20:00	8:00	3,9	3,9
9:00	5,0	3,9	21:00	9:00	3,9	3,9	21:00	9:00	3,9	3,9
10:00	5,0	3,9	22:00	10:00	3,9	3,9	22:00	10:00	3,9	3,9
11:00	5,0	3,9	23:00	11:00	3,9	3,9	23:00	11:00	3,9	3,9

Na figura encontra-se assinalada a hora a que o sistema de climatização começa a insuflar o caudal mínimo obrigatório para o interior do Edifício Base. Deste forma se prova que à hora a que se verifica a situação de carga máxima para a estação de Aquecimento o sistema de Climatização já se encontra em funcionamento.

Outro facto importante que se retira da análise deste quadro é o caudal que é insuflado para o interior do espaço. Esse caudal é o mínimo obrigatório e desta forma se prova que o software não contempla a situação de recirculação.





**Anexo XV a) - Quadros para a determinação das horas de carga máxima através do Método Carrier**

Ganhos Solares Totais através dos Envidraçados segundo as quatro Orientações ( valores em Watts )

horas		N	S	E	O
6		16	2	501	4
7		49	5	991	8
8		91	32	1131	10
9		106	112	963	12
10		120	259	541	13
11		125	449	160	13
12		128	547	36	13
13		132	506	33	82
14		135	344	30	374
15		128	174	25	825
16		121	66	20	1148
17		143	29	15	1162
18		247	12	6	751

Ganhos Internos Totais das diferentes fontes de calor ( valores em Watts )

horas		Iluminação	Ocupação	Equipam.	Total
6		202,4	558,3	3140,6	3901,3
7		889,8	1116,7	7328,0	9334,5
8		2333,8	2791,6	8933,2	14058,7
9		2640,9	5024,9	9980,1	17645,9
10		3140,6	5583,3	10468,6	19192,5
11		3210,4	5583,3	9980,1	18773,8
12		1622,6	2791,6	7328,0	11742,3
13		2820,9	3908,3	7328,0	14057,3
14		3149,0	5024,9	9980,1	18154,0
15		3280,2	5583,3	10468,6	19332,1
16		3182,5	4466,6	9421,8	17070,9
17		837,5	2791,6	7328,0	10957,2



**Anexo XV b) - Quadros para a determinação das horas de carga máxima através do Método Carrier**

Quadro com o valor das cargas totais (Internas + Envidraçados) presentes no Edifício Base  
(valores em Watts)

horas	Q Total
6	4424,4
7	10387,4
8	15323,2
9	18838,6
10	20125,9
11	19521,1
12	12466,3
13	14809,8
14	19036,3
15	20483,5
16	18426,7
17	12305,6

Da análise deste quadro se retira que a situação de carga máxima para a estação de arrefecimento ocorre às 15 horas (corresponde ao valor máximo) enquanto que para a estação de aquecimento ocorre às 6 horas (corresponde ao valor mínimo).



Anexo XVI - Características do Chiller

AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO



CLASSE DE CAPACIDADE																							
Capacidade	Arrefecimento	kW	N5	P5	B5	N8	P8	B8	N10	P10	B10	N12	P12	B12	N16	P16	B16	N20	P20	B20	N24	P24	B24
	Aquecimento	kW		9,1			17,1			21,0			25,0			34,2		40,0				50,0	
	Arrefecimento	kW		11,9			18,5			24,0			27,0			37,0		46,0				54,0	
	Aquecimento	kW		3,78			7,45			8,57			11,4			14,9		16,3				22,8	
Potência absorvida	Arrefecimento	kW		4,59			7,10			9,10			10,8			14,2		17,4				21,6	
	Aquecimento	%	0-100																				
Escalaões de Capacidade			0-100																				
EER			2,40			2,30			2,45			2,20			2,30		2,45			2,20			
COP (Eurovent)			2,60																				
Dimensões		Altura x Largura x Profundidade	mm																				
Peso	Peso da unidade	kg	1.230 x 1.290 x 734																				
	Peso em Funcionamento	kg	163	181	193	227	241	253	258	272	284	258	272	284	455	473	485	516	534	546	516	534	
Permutador de Placas	Peso em Funcionamento	kg	165	184	252	230	244	312	261	275	343	261	275	343	461	482	550	522	544	612	522	544	
	Tipo		Permutador de placas																				
	Volume de água mínimo no sistema	l	43																				
	Caudal de	l/min	21																				
	Água	l/min	68																				
	Perda de Pressão (Nominal)	l/min	26																				
Permutador de ar	Aquecimento	l/min	34																				
	Arrefecimento	kPa	10																				
	Arrefecimento	kPa	17																				
	Aquecimento	kPa	17																				
Depósito de inércia	Tipo		Serpentina de alheta transversal/tubos Hi-X e alhetas revestidas a PE																				
	Aquecimento	kPa	-	205	-	160	-	127	-	100	-	195	-	147	-	111							
	Volume	l	-	55	-	55	-	55	-	55	-	55	-	55	-	55							
	Caudal de ar nominal	m³/min	160																				
Compressor	Tipo		170																				
	Modelo	Quantidade	Compressor scroll hermeticamente vedado																				
Potência Sonora	Arrefecimento	dBa	67	76																			
Limites de Funcionamento	Lado da água	Arrefecimento	78																				
	Aquecimento	°CBs	-10 (OPZL) ~ 20																				
	Lado do ar	Aquecimento	35 ~ 50																				
	temperatura	Arrefecimento	-15 ~ 43																				
Circuito de refrigeração	Aquecimento	°CBs	-10 ~ 21																				
	Tipo de fluido frigorígeno		R-407C																				
	Carga de fluido frigorígeno	kg	4,6	4,7																			
	N.º de circuitos		1																				
Alimentação Eléctrica	Controlo do fluido frigorígeno		Válvula de expansão termostática																				
	Entrada/saída da água do evaporador		3N~/400V/50Hz																				
	Ligações das tubagens		1-1/4"																				
	Drenagem de água do evaporador		15mm																				



## **Anexo XVII -** Folhas de Verificação do RCCTE - Excel

**Folha de cálculo FC IV. 1a**  
Perdas associadas à envolvente exterior

<b>Paredes Exteriores</b> <i>(incluindo pontes térmicas planas)</i>	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	U.A (W/°C)
Norte	71,87	0,39	28,03
Sul	71,87	0,39	28,03
Este	115,97	0,39	45,23
Oeste	115,97	0,39	45,23
PTP - 4 paredes	29,02	0,45	13,06
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
	404,7	TOTAL	159,57

<b>Pavimentos Exteriores</b>	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	U.A (W/°C)
			0
			0
			0
	0	TOTAL	0

<b>Coberturas Exteriores</b>	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	U.A (W/°C)
Cobertura	697,91	0,44	307,08
			0,00
			0,00
	697,91	TOTAL	307,08

<b>Paredes e pavimentos em contacto com o solo</b>	esenv. lineal B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Pavimento	106,6	1,8	191,88
			0
			0
	106,6	TOTAL	191,88

<b>Pontes térmicas lineares</b>	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos	106,6	0,65	69,29
Fachada com pav. ext. ou c/ Lna's			0,00
Fachada com pavimentos intermédios			0,00
Fachada com cobertura inclinada ou terraço			0,00
Fachada com varanda			0,00
Duas paredes verticais	17,28	0,2	3,46
Fachada com caixa de estore		0	0,00
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril		0	0,00
Outras			0,00
	123,88	TOTAL	72,75

**Perdas pela envolvente exterior  
da Fracção Autónoma**

(W/°C) **TOTAL** 731,28



**Folha de cálculo FC IV.1b**  
Perdas associadas à envolvente interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
				0
				0
				0
				0
				0
				0
				0
	0		TOTAL	0

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
				0
				0
				0
				0
	0		TOTAL	0

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
				0
				0
				0
				0
				0
	0		TOTAL	0

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
				0
				0
				0
				0
				0
	0		TOTAL	0

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	τ (-)	τ.ψ.B (W/°C)
				0
				0
				0
				0
				0
			TOTAL	0

Perdas pela envolvente interior

da Fracção Autónoma

(W/°C)

<b>TOTAL</b>	<b>0,00</b>
--------------	-------------

*Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:*

*Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;*

*Edifícios anexos;*

*Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;*

*Sotãos não-habitados.*

**Folha de cálculo FC IV. 1c**  
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores

<b>Vãos envidraçados exteriores</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>U.A (W/°C)</b>
<b>Verticais:</b>			
Norte	14,4	2,7	38,88
Sul	14,4	2,7	38,88
Este	13,5	2,7	36,45
Oeste	13,5	2,7	36,45
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
<b>Horizontais:</b>			
			0,00
			0,00
			0,00
	55,8	<b>TOTAL</b>	150,66

Aenv / Ap

8,0%

**Folha de cálculo FC IV. 1d**  
Perdas associadas à renovação de ar

Área Útil de Pavimento		<input type="text" value="697,91"/>	(m <sup>2</sup> )
		x	
Pé-direito médio		<input type="text" value="4,32"/>	(m)
		=	
Volume interior (V)		<input type="text" value="3014,971"/>	(m <sup>3</sup> )

**VENTILAÇÃO NATURAL** *(Quadro a considerar sempre que o único dispositivo de ventilação mecânica existente seja o exaustor da cozinha)*

Cumpra a NP 1037-1? (S ou N)  se SIM: RPH =

Se NÃO:

Classe da Caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	<input type="text" value="s/c"/>	<b>Taxa de Renovação Nominal:</b> Ver Quadro IV.1  RPH= <input type="text" value="0,9"/>
Caixas de Estore	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>	
Classe de Exposição	(1, 2, 3 ou 4)	<input type="text" value="1"/>	
<i>(Ver Quadro IV.2)</i> Aberturas Auto-reguladas?	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>	
Área de envidraçados > 15% Ap?	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>	
Portas Exteriores bem vedadas?	(S ou N)	<input type="text" value="S"/>	

**VENTILAÇÃO MECÂNICA** *(excluir exaustor da cozinha)*

Caudal de Insuflação	Vins - (m <sup>3</sup> /h)	<input type="text"/>	Vf = <input type="text" value="0,00"/>				
Caudal Extraído	Vev - (m <sup>3</sup> /h)	<input type="text"/>					
Diferença entre Vins e Vev	(m <sup>3</sup> /h)	<input type="text" value="0,00"/>	/ <table> <tr> <td>V =</td> <td><input type="text" value="0"/></td> </tr> <tr> <td>(volume int)</td> <td>RPH (**)</td> </tr> </table>	V =	<input type="text" value="0"/>	(volume int)	RPH (**)
V =	<input type="text" value="0"/>						
(volume int)	RPH (**)						
Infiltrações <i>(Vent. Natural)</i>	Vx - (h <sup>-1</sup> )	<input type="text"/>					
Recuperador de calor	(S ou N)	<input type="text"/>	se SIM, η = <input type="text"/> se NÃO, η = <input type="text" value="0"/>				
Taxa de Renovação Nominal	(mínimo: 0,6)	<input type="text" value="0"/>	(Vf / V + Vx). (1-η)				
Consumo de Electricidade para os ventiladores		<input type="text"/>	(Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))				

Volume	3014,97	
	x	
Taxa de Renovação Nominal	0,9	
	x	
	0,34	
	=	
TOTAL	922,58	(W/°C)



**Folha de cálculo FC IV. 1e**  
Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)

**Ganhos Solares:**

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m <sup>2</sup> )	Factor de orientação X (-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m <sup>2</sup> )
Norte	duplo	14,40	0,27	0,78	1,00	0,70	0,80	1,70
Sul	duplo	14,40	1,00	0,78	0,90	0,70	0,75	5,31
Este	duplo	13,50	0,56	0,78	0,90	0,70	0,85	3,16
Oeste	duplo	13,50	0,56	0,78	0,90	0,70	0,85	3,16
								0,00
								0,00
								0,00
								0,00
								0,00
								0,00

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m<sup>2</sup>)

13,32

x

Radiação incidente num envidraçado a Sul (Gsul)

na zona  do Quadro III. 8 (Anexo III) - (kWh/m<sup>2</sup>.mês)

108

x

Duração da estação de aquecimento - do Quadro III.1 (meses)

5,3

Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)

7624,87

**Folha de cálculo FC IV. 1f**  
Valor máximo das necessidades de aquecimento (Ni)

<b>Factor de forma</b>		
De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)	m <sup>2</sup>
Paredes exteriores		404,7
Coberturas exteriores		697,91
Pavimentos exteriores		0
Envidraçados exteriores		55,8
De FCIV.1b:	(Áreas equivalentes, A .τ)	
Paredes interiores		0
Coberturas interiores		0
Pavimentos interiores		0
Envidraçados interiores		0
Área total:		1158,41
		/
Volume (de FCIV.1d):		3014,971
		=
<b>FF</b>		0,384219

**Graus-dias no local (°C.dia)** (do Quadro III.1) 1160

Ni = 4,5 + 0,0395 GD	Para FF <input checked="" type="checkbox"/> 0,5	Auxiliar 50,32
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD	Para 0,5 < FF <input checked="" type="checkbox"/> 1	45,35069
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2FF)	Para 1 < FF <input checked="" type="checkbox"/> 1,5	50,94
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	Para FF > 1,5	83,92

**Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)** 50,32



**Folha de cálculo FC IV. 2**  
Cálculo do indicador Nic

<b>Perdas térmicas associadas a:</b>	<b>(W/°C)</b>
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	731,28
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	0,00
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	150,66
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	922,58

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	1804,52
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1160,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	50237,89
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	23696,35
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	26541,54
	/
Área Útil de Pavimento (m2)	697,91
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m2.ano)	38,03
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	50,32

Verifica

O.K.

Nic/Ni = 75,58%

**Folha de cálculo FC V. 1a**  
Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	<input type="text" value="159,57"/>	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	<input type="text" value="0,00"/>	(W/°C)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	<input type="text" value="307,08"/>	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCIV.1c)	<input type="text" value="150,66"/>	(W/°C)
		+	
Perdas associadas à renovação do ar	(FCIV.1d)	<input type="text" value="922,58"/>	(W/°C)
		=	
<b>Perdas específicas totais</b>	(Q1a)	<input type="text" value="1539,90"/>	(W/°C)

Temperatura interior de referência		<input type="text" value="25"/>	(°C)
		-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (Quadro III.9)		<input type="text" value="21"/>	(°C)
		=	
Diferença de temperatura interior-exterior		4	
		x	
Perdas específicas totais	(Q1a)	<input type="text" value="1539,90"/>	(W/°C)
		x	
		2,928	
		=	
<b>Perdas térmicas totais</b>	(Q1b)	<input type="text" value="18035,26"/>	(kWh)

**Folha de cálculo FC V. 1c**  
Ganhos solares pela envolvente opaca

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL (*inclui paredes e cobertura*)

Orientação	Norte	Sul	Este	Oeste	Horizontal	...
Área, A (m <sup>2</sup> )	71,87	71,87	115,97	115,97	697,91	
	x	x	x	x	x	x
U (W/m <sup>2</sup> °C)	0,39	0,39	0,39	0,39	0,51	
	x	x	x	x	x	x
Coeficiente de absorção, α (Quadro V.5)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
	=	=	=	=	=	=
α.U.A (W/°C)	11,21	11,21	18,09	18,09	142,37	0,00
	x	x	x	x	x	x
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m <sup>2</sup> ) (Quadro III.9)	200	380	420	430	760	
	x	x	x	x	x	x
	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	=	=	=	=	=	=
<b>Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior</b>	89,69	170,42	303,93	311,17	4328,16	0,00
						<b>TOTAL</b>
						<b>5203,38</b> (kWh)

**NOTA: O VALOR DE U DAS COBERTURAS A USAR NESTA FICHA CORRESPONDE À SITUAÇÃO FLUXO DESCENDENTE**

## Ganhos solares pelos envidraçados

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL

Orientação	Norte	Sul	Este	Oeste	...	...
Área, A (m <sup>2</sup> )	14,4	14,4	13,5	13,5		
	x	x	x	x	x	x
Factor solar do vão envidraçado (protecção solar activada a 70%)	0,25	0,25	0,25	0,25		
	x	x	x	x	x	x
Fracção envidraçada, Fg (Quadro IV.5)	0,7	0,7	0,7	0,7		
	x	x	x	x	x	x
Factor de obstrução, Fs	0,9	0,9	0,9	0,9		
	x	x	x	x	x	x
Factor de selectividade do vidro, Fw (Quadro V.3)	0,8	0,75	0,85	0,85		
	=	=	=	=	=	=
Área Efectiva, Ae	1,81	1,70	1,81	1,81	0,00	0,00
	x	x	x	x	x	x
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m2) (Quadro III.9)	200	380	420	430		
	=	=	=	=	=	=
Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores	362,88	646,38	759,07	777,14	0,00	0,00
					TOTAL	
	362,88	646,38	759,07	777,14	0,00	0,00
					2545,48 (KWh)	

**Folha de cálculo FC V. 1e**  
Ganhos internos

Ganhos Internos médios ( $\text{W/m}^2$ ) (Quadro IV.3)	7	
	x	
Área Útil de Pavimento ( $\text{m}^2$ )	697,91	
	x	
	2,928	
	=	
<b>Ganhos internos Totais</b>	<b>14304,36</b>	<b>(KWh)</b>

**Folha de cálculo FC V. 1f**  
Ganhos totais na estação de arrefecimento (Verão)

<b>Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores</b> (FCV.1d)	<b>2545,48</b>	<b>(KWh)</b>
	+	
<b>Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior</b> (FCV.1c)	<b>5203,38</b>	<b>(KWh)</b>
	+	
<b>Ganhos internos</b> (FCV.1e)	<b>14304,36</b>	<b>(KWh)</b>
	=	
<b>Ganhos Térmicos Totais</b>	<b>22053,21</b>	<b>(KWh)</b>

### Folha de cálculo FC V. 1g

Valor das necessidades nominais de arrefecimento (Nvc)

**Ganhos Térmicos Totais** 22053,21 (kWh)  
(FCV.1f)

/

**Perdas Térmicas Totais** 18035,26 (kWh)  
(FCV.1a)

=

**Relação Ganhos-Perdas**  $\gamma$  1,222783

**Inércia do edifício** (*In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3*) 2

	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</span>	<div>Cálculo intermédio:</div> <div>a = 2,6</div> <div><math>\gamma = 1</math>      <math>\eta = 0,722222</math></div> <div><math>\gamma \neq 1</math>      <math>\eta = 0,646379</math></div>
	-	
Factor de utilização dos ganhos, $\eta$ (Gráfico IV.1)	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0,646379</span>	
	=	
	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0,353621</span>	
	x	
<b>Ganhos Térmicos Totais</b> (FCV.1f)	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">22053,21</span> (kWh)	
	=	
<b>Necessidades Brutas de Arrefecimento</b>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">7798,47</span> (kWh/ano)	

	+	
Consumo dos ventiladores	0,00	(Ev=Pvx24x0,03x4(kWh))
	=	
TOTAL	7798,47	(kWh/ano)
	/	
Área Útil de Pavimento (m <sup>2</sup> )	697,91	
	=	
Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc	11,17	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
	≤	
Necessidades Nominais de Arref. Máximas - Nv (Nº2 do Artigo 15º)	22	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)

Verifica

O.K.

Nvc/Nv (%) =

50,79109





### Cálculo das necessidades de energia para preparação de água quente sanitária

<b>Nº de ocupantes</b> (Quadro VI.1)	<input type="text"/>
<b>Consumo médio diário de referência de AQS</b> ( $M_{AQS}$ ) (edifícios residenciais - 40 litros/ocupante)	<input type="text" value="0,00"/>
<b>Aumento de temperatura necessário</b> ( $\Delta T$ ) (considerar igual a 45°C)	<input type="text" value="45,00"/>
<b>Número anual de dias de consumo</b> ( $n_d$ ) (Quadro VI.2)	<input type="text"/>
<b>Energia despendida com sistemas convencionais</b> ( $Q_a$ )	<input type="text" value="0,00"/>
<b>Eficiência de conversão do sistema de preparação de AQS</b> ( $\eta_a$ ) (Ponto 3 do Anexo VI)	<input type="text"/>
<b><math>E_{solar}</math></b>	<input type="text"/>
<b><math>E_{ren}</math></b>	<input type="text"/>
<b>Necessidades de energia para preparação de AQS, <math>N_{ac}</math></b>	<input type="text" value="#DIV/0!"/>
<b>Valor máximo para as nec. de energia para preparação de AQS, <math>N_a</math></b>	<input type="text" value="0,00"/>

**$N_{ac} \leq N_a$ ?**

(habitação)

(kW.h/ano)

*Programa SOLTERM do INETI / sistemas ou equipamentos certificados pela DGGE*

*Calculado com base num método devidamente justificado e reconhecido e aceite pela entidade licenciada*

(kW.h/m<sup>2</sup>.ano)

(kW.h/m<sup>2</sup>.ano)

*adora*

### Necessidades Globais de Energia Primária

<b>Ni</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)	50,32
<b>Nic</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)	38,03
<b>Nv</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)	22
<b>Nvc</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)	11,17
<b>Na</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)	0,00
<b>Nac</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)	#DIV/0!
<b>ηi</b>	
<b>ηv</b>	
<b>F<sub>pui</sub></b> (kgep/kW.h)	
<b>F<sub>puv</sub></b> (kgep/kW.h)	
<b>F<sub>pua</sub></b> (kgep/kW.h)	

Art. 18.º - ponto 2

Art. 18.º - ponto 2

Art. 18º - ponto 1

Art. 18º - ponto 1

Art. 18º - ponto 1

Necessidades nominais globais de energia primária, Ntc

Valor máximo das nec. nominais globais de energia primária, Nt

#DIV/0!

(kgep/m<sup>2</sup>.ano)

0,65088

(kgep/m<sup>2</sup>.ano)

Ntc / Nt

#DIV/0!

FICHA nº1  
REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE  
EDIFÍCIOS ( RCCTE)

Demonstração da conformidade Regulamentar para  
Emissão de Licença ou Autorização Construção  
( Nos termos da alínea a) do nº.2 do artigo 12º. )

Câmara Municipal de:

Edifício:

Localização:

Nº de fracções autónomas:

Para cada fracção autónoma ou corpo incluir:

- ☒ Ficha 2 - Levantamento Dimensional
- ☒ Ficha 3 - Comprovação de Satisfação dos Requisitos Mínimos
- ☒ Fichas FCIV e FCV ( Anexos IV e V do RCCTE )

**Técnico Responsável:**

Nome:

Inscrito na Ordem dos Engenheiros com o nº

Data:

**Anexos:**

1. Declaração de reconhecimento de capacidade profissional para aplicação do RCCTE.
2. Termo de Responsabilidade do Técnico Responsável, nos termos do disposto na alínea e) do nº.2 do artigo 12º. do RCCTE.
3. Declaração de conformidade regulamentar subscrita por perito qualificado, no âmbito do SCE, nos termos do disposto na alínea f) do nº2 do artigo 12º do RCCTE.

## Mapa de Valores Nominais para o Edifício

Zonas Climáticas			Altitude:		
Graus-dias:			Temp. Verão		
Duração Aquec.					

[illegible]

FICHA 2  
REGULAMENTO DAS CARACTERISTICAS TÉRMICAS  
DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS  
LEVANTAMENTO DIMENSIONAL,  
(Nos termos do artigo 12.º, n.º 2, alínea b)  
(PARA UMA ÚNICA FRACÇÃO AUTÓNOMA)  
(ou para o corpo de um edifício)

Edifício/FA :

Área útil de pavimento:	Pé direito médio (ponderado):
-------------------------	-------------------------------

Elementos correntes da envolvente		
	A (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
<b>PAVIMENTOS</b>		
sobre exterior		
sobre área não útil		
Total		
<b>PAREDES</b>		
Ext. (total)		
Interiores		
<b>PONTES TÉRMICAS</b>		
<b>PLANAS</b>		
Total		
<b>COBERTURAS</b>		
terraço		
desvão		
não ventilado		
ventilado		
planas		
sob área não útil		
Total		

Elementos em Contacto com o Solo	
comp. (m)	Ψ (W/m.°C)
<b>PAVIMENTOS</b>	
<b>PAREDES</b>	

Pontes Térmicas	
comp. (m)	Ψ (W/m.°C)
<b>FACHADA COM PAVIMENTO:</b>	
térreo	
intermédios	
sobre locais não aquecidos ou exteriores	
<b>FACHADA COM</b>	
cobertura	
varanda	
caixa de estore	
peitoril / padieira	
<b>LIGAÇÃO ENTRE DUAS PAREDES</b>	

COEFICIENTE DE ABSORÇÃO - α	
PAREDE	COBERTURA

PAREDES (descrição sumária e valor de U)	ÁREAS (m <sup>2</sup> ) POR ORIENTAÇÃO								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
									0,00
<b>VÃOS ENVIDRAÇADOS</b> (especificar incluindo tipo protecção e valor de Sv)									
<b>ENVIDRAÇADOS HORIZONTAIS</b> (m <sup>2</sup> )									



FICHA 3  
REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE  
EDIFÍCIOS ( RCCTE)

Demonstração de Satisfação dos Requisitos Mínimos  
para a Envolvente de Edifícios  
( Nos termos da alínea d) do nº.2 do artigo 12º. )

Edifício:  
Fracção Autónoma  
Inércia Térmica

a) U máximo Valores Máximos Regulamentares: Soluções adoptadas

_____	Fachadas ext.	_____	W/m <sup>2</sup> .°C
_____	Cobertura ext.	_____	W/m <sup>2</sup> .°C
_____	Pavim. s/ ext.	_____	W/m <sup>2</sup> .°C
_____	Paredes interiores	_____	W/m <sup>2</sup> .°C
_____	Pavim. inter.	_____	W/m <sup>2</sup> .°C
_____	Cobert. inter.	_____	W/m <sup>2</sup> .°C
_____	Pontes Térm.	_____	W/m <sup>2</sup> .°C

b) Factores Solares dos Envidraçados  
Soluções adoptadas - Verão

Valores Máximos Regulamentares:

Tipo de Protecção solar	_____	<	_____	( V1)
Tipo de Protecção solar	_____		_____	
Tipo de Protecção solar	_____		_____	

c) Pontes térmicas planas:  
Soluções adoptadas

Valores Máximos Regulamentares: \_\_\_\_\_ U

_____	W/m <sup>2</sup> .°C	_____	W/m <sup>2</sup> .°C
_____	W/m <sup>2</sup> .°C	_____	W/m <sup>2</sup> .°C
_____	W/m <sup>2</sup> .°C	_____	W/m <sup>2</sup> .°C

Juntar pormenores construtivos definidores de todas as situações de potencial ponte térmica:

- ☐ Caixas de estore ( se existirem )
- ☐ ligações entre paredes e vigas
- ☐ ligações entre paredes e pilares
- ☐ ligações entre paredes e lajes de pavimento
- ☐ ligações entre paredes e lajes de cobertura
- ☐ paredes e pavimentos enterrados
- ☐ montagem de caixilharia.

Técnico Responsável:  
Nome

Data

Assinatura:

\_\_\_\_\_

FICHA 4  
REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE  
EDIFÍCIOS ( RCCTE)

Demonstração da Conformidade Regulamentar para  
Emissão da Licença ou Autorização de Utilização  
( Nos termos do artigo 12º., nº.3 )

<b>Construção conforme projecto</b>	<b>S/N</b>
<b><u>Técnico Responsável pela Direcção Técnica da Obra:</u></b>	
Nome _____	
Morada _____	
Membro da _____ com o nº.: _____	
Data _____	

Anexos:

1. Certificado Energético emitido por perito qualificado no âmbito do SCE, conforme artigo 12º., nº.3
2. Termo de Responsabilidade do Técnico Responsável Pela Direcção Técnica da Obra
3. Declaração de reconhecimento de capacidade profissional do técnico responsável pela construção do edifício, emitida pela respectiva Associação Profissional.



## **Anexo XVIII** - Folhas de Verificação do RCCTE - Software RCCTE-STE

## FICHA 1

REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS (RCCTE), Demonstração da Conformidade Regulamentar para Emissão de Licença ou Autorização de Construção, nos termos do artigo 12º, nº 2, alínea a

Câmara Municipal de:	Almada
Edifício:	Edifício que serve de estudo
Localização:	Situado na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural
Nº de Fracções Autónomas:	1
Técnico Responsável:	Filipe Marques
Inscrito na:	Ordem dos Engenheiros
Nº:	30340
Data:	21-09-2011

## Mapa de Valores Nominais para o Edifício

Zona Climática:	I1	V1	Altitude (m):	100	
Graus Dia (°C):	1160,00	Duração Aquec. (meses):	5,30	Temp. de Verão (°C):	21

[illegible]

## FICHA 2

REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS (RCCTE), Levantamento

Dimensional, nos termos do artigo 12º, nº 2, alínea b, para uma única fracção autónoma ou para um corpo de um edifício

Edifício:	Edifício que serve de estudo		
Fracção Autónoma:	ESTUDO		
Área Útil de Pavimento (m²):	697,91	Pé Direito Médio (m):	4,32

[illegible]

## FICHA 2

Coeficiente de Absorção			
Paredes	Cob. em Terraço	Cob. em Desvão Vent.	Cob. em Desvão não Vent.
0,40	0,40		

[illegible]

# FICHA 3

REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS (RCCTE), Demonstração de Satisfação dos Requisitos Mínimos para a Envolvente de Edifícios, nos termos do artigo 12º, nº 2, alínea d

Edifício:	Edifício que serve de estudo
Fracção Autónoma:	ESTUDO
Inércia Térmica:	Média
Técnico Responsável:	Filipe Marques
Data:	21-09-2011
Assinatura:	

## a) U Máximo da Envolvente Opaca

	Soluções Adoptadas (W / m².°C)	Valores Máximos Regulamentares (W / m².°C)
Paredes Exteriores:	0,39	1,80
Coberturas Exteriores:	0,44	1,25
Pavimentos Exteriores:	0,00	1,25
Paredes Interiores:	0,00	2,00
Coberturas Interiores:	0,00	1,65
Pavimentos Interiores:	0,00	1,65

## b) Factor Solar Máximo dos Envidraçados

	Soluções Adoptadas	Valores Máximos Regulamentares
Envidraçados Verticais Exteriores:	0,25	0,56
Envidraçados Horizontais Exteriores:	0,00	0,56

## c) U Máximo das Pontes Térmicas Planas

	Soluções Adoptadas (W / m².°C)	Valores Máximos Regulamentares (W / m².°C)
Pontes Térmicas Planas das Paredes Exteriores:	0,45	0,78
Pontes Térmicas Planas das Coberturas Exteriores:	0,00	1,25



Folha Cálculo FCIV.1a  
 Perdas associadas à Envolvente Exterior

		Área - A(m²)	U(W/m²°C)	U.A(W°C)
Paredes				
	TESE - E	115,97 X	0,39 =	45,23
	TESE - N	71,87 X	0,39 =	28,03
	TESE - O	115,97 X	0,39 =	45,23
	TESE - S	71,87 X	0,39 =	28,03
			TOTAL	146,52
Pontes térmicas planas das paredes				
	PILAR-E	9,07 X	0,45 =	4,08
	PILAR-N	5,44 X	0,45 =	2,45
	PILAR-O	9,07 X	0,45 =	4,08
	PILAR-S	5,44 X	0,45 =	2,45
			TOTAL	13,06
Coberturas horizontais, em terraço				
	TESE	697,91 X	0,44 =	307,08
			TOTAL	307,08
Pavimentos em contacto com o terreno				
	TESE-PAV	106,60 X	1,80 =	191,88
			TOTAL	191,88
Pontes térmicas lineares				
	CANTOS	17,28 X	0,20 =	3,46
	FACH/PAV	106,60 X	0,65 =	69,29
			TOTAL	72,75
Perdas pela envolvente exterior da Fracção Autónoma (W/°C)				731,29

	Área - A(m²)	U(W/m² °C)	U.A(W/°C)
Verticais			
TESE - E	13,50 X	2,70 =	36,45
TESE - N	14,40 X	2,70 =	38,88
TESE - O	13,50 X	2,70 =	36,45
TESE - S	14,40 X	2,70 =	38,88
		TOTAL	150,66
Perdas pelos vãos envidraçados exteriores da Fracção Autónoma (W/°C)			150,66

Folha Cálculo FCIV.1d

Perdas associadas à Renovação do Ar

Área Útil de pavimento - Ap(m²)	697,91
	X
Pé-direito médio (m)	4,32
	=
Volume interior - V(m³)	3014,97

### VENTILAÇÃO NATURAL

Cumpre NP 1037-1 Não

Se SIM

RPH

Se NÃO

Classe da caixilharia Sem classificação

Caixas de estore Não

Classe de exposição Exp 2

Aberturas auto-reguladas Não

Área de Envidraçados > 15% Ap Não

Portas exteriores bem vedadas Sim

RPH 0,95

Taxa de renov. nominal 0,90

### VENTILAÇÃO MECÂNICA

Caudal de insuflação - Vins(m³/h)

Caudal extraído - Vev(m³/h)

Diferença entre Vins e Vev (m³/h)

Volume - V(m³)

$| ( Vins - Vev ) / V |$

Vf(m³/h)

Infiltrações - Vx(m³/h)

Recuperador de calor

η

RPH

Taxa de renov. nominal (  $( Vf / V ) + Vx )( 1 - η )$

Consumo de electricidade para os ventiladores

Volume 3014,97

Taxa de renov. nominal 0,90

TOTAL (W/°C) 922,58

Folha Cálculo FCIV.1e  
 Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares

Orientação	Tipo	Área - A(m²)	Xj(-)	g(-)	Fs(-)	Fg(-)	Fw(-)	Ae(m²)
Este	Duplo	13,50 X	0,56 X	0,63 X	0,90 X	0,70 X	0,90 =	2,70
Norte	Duplo	14,40 X	0,27 X	0,63 X	0,90 X	0,70 X	0,90 =	1,54
Oeste	Duplo	13,50 X	0,56 X	0,63 X	0,90 X	0,70 X	0,90 =	2,70
Sul	Duplo	14,40 X	1,00 X	0,63 X	0,90 X	0,70 X	0,90 =	5,14
TOTAL								12,08

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m²)		12,08
		X
Radiação Incidente num envidraçado a Sul (GSul) (KWh/m².mês) na Zona	II	108,00
		X
Duração da Estação de Aquecimento (meses)		5,30
		=
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)		6914,59

Ganhos Internos

Ganhos internos médios (W/m²)		7,00
		X
Duração da Estação de Aquecimento (meses)		5,30
		X
Área Útil de pavimento (m²)		697,91
		X
		0,72
		=
Ganhos Internos Brutos (kWh/ano)		18642,57

Ganhos Totais Úteis

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos		25557,16
		/
Necessidades Brutas de Aquecimento		50238,12
		=
γ		0,51
Inércia do edifício	Média	0,51
Factor de utilização de ganhos solares		0,91
		X
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos		25557,16
		=
Ganhos totais uteis (kWh/ano)		23257,02

Folha Cálculo FCIV.1f

Valor máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

FACTOR DE FORMA

Das FCIV.1a e 1c (Áreas)	m²
Paredes Exteriores	404,70
Coberturas Exteriores	697,91
Pavimentos Exteriores	0,00
Envidraçados Exteriores	55,80
Da FCIV.1b (Áreas Equivalentes)	
Paredes Interiores	0,00
Coberturas Interiores	0,00
Pavimentos Interiores	0,00
Envidraçados Interiores	0,00
Área Total	1158,41
	/
Volume (da FCIV.1d)	3014,97
FF	0,38
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1160,00
Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas Ni(kWh/m².ano)	50,32

Folha Cálculo FCIV.2  
Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (da FCIV.1a)	731,29
	+
Envolvente Interior (da FCIV.1b)	0,00
	+
Vãos Envidraçados (da FCIV.1c)	150,66
	+
Renovação de Ar (da FCIV.1d)	922,58
	=
Coefficiente Global de Perdas (W/°C)	1804,53
	X
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1160,00
	X
	0,024
	+
Consumo dos ventiladores	0,00
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	50238,12
	-
Ganhos Totais Úteis (da FCIV.1e)	23257,02
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	26981,10
	/
Área Útil de pavimento (m²)	697,91
	=
Necessidades Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m².ano)	38,66
	<=
Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - Ni (kWh/m².ano)	50,32

Folha Cálculo FCV.1a  
Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (FCV.1a) (W/°C)	159,58
	+
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (FCV.1b) (W/°C)	0,00
	+
Perdas associadas às coberturas exteriores (FCV.1b) (W/°C)	286,14
	+
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (FCV.1b) (W/°C)	150,66
	+
Perdas associadas à renovação de ar (FCIV.1d) (W/°C)	922,58
	=
Perdas específicas totais (W/°C)	1518,96
Temperatura interior de referência (°C)	25,00
	-
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (°C)	21,00
	=
Diferença de temperatura interior-exterior (°C)	4,00
	X
Perdas específicas totais (W/°C)	1518,96
	X
	2,928
	=
Perdas térmicas totais (kWh)	17790,06

		Área - A(m²)	U(W/m² °C)	U.A(W°C)
Coberturas horizontais, em terraço	TESE	697,91 X	0,41 =	286,14
			TOTAL	286,14
Envidraçados Verticais	TESE - E	13,50 X	2,70 =	36,45
	TESE - N	14,40 X	2,70 =	38,88
	TESE - O	13,50 X	2,70 =	36,45
	TESE - S	14,40 X	2,70 =	38,88
			TOTAL	150,66
				436,80



Folha Cálculo FCV.1c  
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca

		Área - A(m²)	U(W/m² °C)	α(-)	U.A.α(W/°C)
Norte	PILAR-N	5,44 X	0,45 X	0,40 =	0,98
	TESE - N	71,87 X	0,39 X	0,40 =	11,21
	TOTAL				12,19
					X
	Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento (kWh/m²)				200,00
					X
					0,04
					=
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior (kWh)					97,52
Este	PILAR-E	9,07 X	0,45 X	0,40 =	1,63
	TESE - E	115,97 X	0,39 X	0,40 =	18,09
	TOTAL				19,72
					X
	Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento (kWh/m²)				420,00
					X
					0,04
					=
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior (kWh)					331,30
Sul	PILAR-S	5,44 X	0,45 X	0,40 =	0,98
	TESE - S	71,87 X	0,39 X	0,40 =	11,21
	TOTAL				12,19
					X
	Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento (kWh/m²)				380,00
					X
					0,04
					=
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior (kWh)					185,29
Oeste	PILAR-O	9,07 X	0,45 X	0,40 =	1,63
	TESE - O	115,97 X	0,39 X	0,40 =	18,09
	TOTAL				19,72
					X
	Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento (kWh/m²)				430,00
					X
					0,04
					=
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior (kWh)					339,18
Horizontal	TESE	697,91 X	0,41 X	0,40 =	114,46
	TOTAL				114,46
					X
	Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento (kWh/m²)				760,00
					X
					0,04
					=
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior (kWh)					3479,58
Total dos ganhos solares pela envolvente opaca exterior (kWh)					4432,87

Folha Cálculo FCV.1d

Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores

	Área - A(m²)	g(-)	Fs(-)	Fg(-)	Fw(-)	Ae(m²)
Norte						
	14,40 X	0,36 X	0,90 X	0,70 X	0,80 =	2,61
					TOTAL	2,61
						X
Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento (kWh/m²)						200,00
						=
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)						522,00
Este						
	13,50 X	0,36 X	0,90 X	0,70 X	0,85 =	2,60
					TOTAL	2,60
						X
Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento (kWh/m²)						420,00
						=
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)						1092,00
Sul						
	14,40 X	0,36 X	0,90 X	0,70 X	0,75 =	2,45
					TOTAL	2,45
						X
Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento (kWh/m²)						380,00
						=
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)						931,00
Oeste						
	13,50 X	0,36 X	0,90 X	0,70 X	0,85 =	2,60
					TOTAL	2,60
						X
Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento (kWh/m²)						430,00
						=
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)						1118,00
Total dos ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)						3663,00

Folha Cálculo FCV.1e  
Ganhos Internos

Ganhos internos médios (W/m²)	7,00
	X
Área útil de pavimento (m²)	697,91
	X
	2,928
	=
Ganhos Internos totais	14304,36

Folha Cálculo FCV.1f

Ganhos Totais na Estação de Arrefecimento (Verão)

Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (FCV.1d) (kWh)	3663,00
	+
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior (FCV.1c) (kWh)	4432,87
	+
Ganhos internos (FCV.1e) (kWh)	14304,36
	=
Ganhos Internos totais	22400,23

Folha Cálculo FCV.1g

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)

Ganhos térmicos totais (FCV.1f) (kWh)	22400,23
	/
Perdas térmicas totais (FCV.1a) (kWh)	17790,06
	=
Y	1,26
Inércia do Edifício (a)	2,60
	1,00
	-
Factor de utilização dos ganhos	0,63
	=
	0,37
	X
Ganhos térmicos totais (FCV.1f) (kWh)	22400,23
	=
Necessidades Brutas de Arrefecimento (kWh/ano)	8288,09
	+
Consumo dos ventiladores	0,00
	=
TOTAL (kWh/ano)	8288,09
	/
Área Útil de pavimento (m²)	697,91
	=
Necessidades nominais de arrefecimento - Nvc (kWh/m².ano)	11,88
	<=
Necessidades nominais de arrefecimento máximas - Nv (kWh/m².ano)	22,00

# FICHA 4

REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS (RCCTE), Demonstração da  
Conformidade Regulamentar para Emissão de Licença ou Autorização de Utilização, nos termos do artigo 12º, nº 3

Construção conforme o projecto: ☐ Sim: ☐ Não: ☐

Técnico Reponsável pela Direcção Técnica da Obra

Técnico Responsável:	
Morada:	
Membro da:	
Nº:	
Data:	